

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MILANO – BICOCCA

Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali

Corso di Laurea in Scienza Ambientali

**ANALISI MEDIANTE LCA E VALUTAZIONE
ECONOMIA DEI TRASPORTI NELLA CITTÀ DI
PADOVA**

Relatore: Prof. Lucia DE BIASE

Correlatore: Dott. Ing. Paolo NERI (ENEA)

Tesi di Laurea di:

Nicolò FANTIN

Matr. Nr. 535540

Anno Accademico 2002 – 2003

Analisi mediante LCA e valutazione economia dei trasporti nella città di Padova

Il presente studio descrive una metodologia basata sull'Analisi del Ciclo di Vita (LCA) per lo studio e la quantificazione dei danni ambientali ed economici derivanti dal trasporto urbano. Applica, inoltre, la suddetta metodologia ad un caso reale, nello specifico il centro storico della città di Padova.

L'approccio utilizzato è di tipo bottom-up: il metodo sfrutta dati di rilevamento del traffico disponibili presso l'amministrazione pubblica, informazioni di carattere generale in merito a determinate categorie di costi, fonti tecniche per la conoscenza delle emissioni indicative delle singole classi di veicoli ed un software specifico, reperibile in commercio, per la gestione di progetti di LCA.

Gli aspetti ambientali sono stati valutati, coerentemente con le caratteristiche del software di elaborazione, con l'ausilio di indici specifici mentre i costi sono stati suddivisi in due categorie, costi individuali e costi sociali: i primi individuano le spese correnti sostenute dagli utenti del sistema, i secondi le spese indirette connesse alla funzionalità di determinati servizi (trasporto pubblico) o alle problematiche del sistema (incidentalità, congestione stradale).

Lo studio individua gli aspetti critici del sistema, li quantifica e li confronta con uno scenario ipotetico di riorganizzazione complessiva basato sulle indicazioni del "Piano Urbano della Mobilità", elaborato dal Comune di Padova nel 2001.

La metodologia consente di valutare in termini quantitativi i problemi attuali e, tramite lo scenario virtuale, di verificare i miglioramenti realizzabili con l'introduzione di tecnologie innovative nella prospettiva di fornire le basi informative per le scelte strategiche di pianificazione della mobilità urbana.

LCA analysis and economic estimation of urban transport system in the city of

Padua, Veneto

This report provides an LCA-based methodology for studying and quantifying environmental and economic impacts due to urban mobility. It describes, also, a case study concerning historical center of Padua, Veneto.

A bottom-up approach is adopted: the method uses traffic data available at the municipalities, well-known information about specific costs, technical sources for every vehicle group and a computer programme available on sale to LCA project management.

With regards to environmental impacts, the method uses performance indexes calculated by the software. Economic costs are split into individual and social cost: the first one describes running costs for urban system users; the second one describes costs due to public transport and urban system problems (accidents or traffic jam).

This report finds system problems, quantifies and compares them with a virtual scenario of traffic reorganization based on the Urban Mobility Plan, issued on 2001 by Municipality of Padua.

The described procedure allows to quantify actual problems and, by comparing them with a virtual scenario, to test technology improvements and it provides a helpful tool for strategic planning of urban transport system.

Ringraziamenti

Come non iniziare con un sincero grazie alla Prof.ssa De Biase, vera seconda “mamma” un po’ per tutti gli studenti del nostro corso di laurea. Un grazie per la dedizione, uno per l’estrema disponibilità, uno per i consigli sulla tesi e sul mio futuro, uno per i suggerimenti letterari e le chiacchierate “defatiganti”.

Un grazie a l’Ing. Neri, Paolo, come invita da subito a farsi chiamare. A lui i ringraziamenti vanno per l’impegno che pone nell’aiutare i suoi studenti, me compreso, a completare il proprio percorso di studi. Soprattutto, però, lo ringrazio per avermi fatto cambiare idea, con discussioni impegnative, a volte contrastate ma sempre cariche di passione, su alcuni aspetti importanti della vita di tutti i giorni.

Gli altri, tutti insieme: non perché meno importanti ma perché, se dovessi spiegare perché li ringrazio, questa tesi, già sufficientemente lunga, diventerebbe ancora più grande. Così li cito in rigoroso ordine sparso, tanto ciascuno di loro sa, o saprà, in che modo mi hanno aiutato: Enry Mariagiovanna, Stella, Gian, Ale, Laura, Miriam, Sere, Paola, Mario, Debora, Emore, GianPaolo.

Infine vorrei ringraziare, indirettamente, un personaggio letterario che con il suo cinismo, la sua irriverenza... e le sue ricette, ha contribuito notevolmente a calmare i miei nervi in questi lunghi mesi di lavoro: tutte le frasi introduttive dei capitoli sono attribuibili a Pepe Carvalho, mirabilmente “diretto” da Manuel Vázquez Montalbán.

*Al passato...
che cammina accanto a me
Ad un piccolo spicchio di futuro...
che è entrato a far parte anche della mia vita*

Indice

SOMMARIO	1
1 INTRODUZIONE	7
1.1 OBIETTIVI DELLO STUDIO.....	7
1.2 LE PROBLEMATICHE DELLA MOBILITÀ.....	9
1.2.1 Il trasporto passeggeri	10
1.2.2 Il trasporto merci	12
1.2.3 Criticità del sistema.....	12
1.3 LA METODOLOGIA LCA	14
1.3.1 Tipi di LCA.....	16
1.3.1.1 Livelli di sofisticazione dell’LCA.....	16
1.3.2 Metodologia	18
1.3.2.1 La metodologia.....	18
1.3.2.2 Definizione, obiettivo e campo di applicazione (UNI EN ISO 14041).....	20
1.3.2.3 Analisi d’inventario del ciclo di vita (UNI EN ISO 14041)	21
1.3.2.4 La Valutazione di Impatto Ambientale (UNI EN ISO 14041).....	21

2.1.1 Direttiva 98/69/EC (EURO III).....	64
2.1.2 Direttiva 98/70/CEE	67
2.1.3 Direttiva 1999/96/CE.....	69
2.1.4 Direttiva 97/24/CE: conformità della produzione dei ciclomotori.....	73
2.1.5 Direttiva 2000/53/CE : smaltimento dei veicoli di trasporto radiati	74
2.2 LA STIMA DEI DANNI DA TRAFFICO	78
2.2.1 Quantificazione dei danni da inquinamento atmosferico	79
2.2.2 Quantificazione dei danni da inquinamento acustico.....	80
2.2.3 Quantificazione dei danni dovuti alla congestione stradale	80
2.2.4 Quantificazione dei danni dovuti agli incidenti	81
2.2.5 Il nostro approccio	81
2.3 POLITICHE DI INTERVENTO.....	82
2.3.1 Strumenti di pianificazione locale	82
2.3.2 Piani di limitazioni della circolazione	83
2.3.3 Decentralizzazione e distretti autosufficienti	84
2.3.4 Mobility Management.....	85
2.3.5 Car Pooling	86
2.3.6 Car Sharing.....	87
2.3.7 Road pricing	88
2.3.8 Eco-Incentivi.....	89
2.3.9 La gestione dell'incidentalità in ambito urbano	90
2.4 INNOVAZIONE TECNOLOGICA	92
2.4.1 Gecam.....	92
2.4.2 Biodiesel	93
2.4.3 Metano e GPL.....	94
2.4.4 Iniezione diretta per i motocicli.....	96
2.4.5 Energia elettrica e veicoli ibridi	96
2.5 IL PIANO URBANO DELLA MOBILITÀ DEL COMUNE DI PADOVA	98
2.5.1 Basi informative	99
2.5.2 Interventi previsti	100
2.5.3 Confronto con le ipotesi di lavoro.....	103
3 ANALISI DEL DANNO AMBIENTALE E DEL COSTO RELATIVI AL	
TRASPORTO DURANTE UNA GIORNATA NELLA CITTÀ DI PADOVA.....	105
3.1 DEFINIZIONE DEGLI OBIETTIVI E DEI CONFINI DELLO STUDIO	105
3.1.1 Obiettivo dello studio.	105
3.1.2 Scopo dello studio.	105
3.1.2.1 <i>Le funzioni del sistema</i>	105
3.1.2.2 <i>L'unità funzionale</i>	105
3.1.2.3 <i>Il sistema che deve essere studiato</i>	106
3.1.2.4 <i>I confini del sistema</i>	107
3.1.2.5 <i>Qualità dei dati</i>	107
3.2 INVETARIO.....	107
3.3 LCA DELLA MANUTENZIONE STRADALE	110
3.3.1 Introduzione	110
3.3.2 Caratteristiche del fenomeno	110

3.3.2.1 <i>L'impiego di materiali</i>	110
3.3.2.2 <i>I costi di manutenzione</i>	111
3.3.3 <i>Implementazione del fenomeno</i>	111
3.4 <i>LCA DEL TRAFFICO FERIALE DELLE AUTOVETTURE</i>	112
3.4.1 <i>Introduzione</i>	112
3.4.2 <i>Assembly dell'automobile</i>	112
3.4.2.1 <i>Le caratteristiche generali</i>	112
3.4.2.2 <i>Caratterizzazione e Valutazione dell'assembly Auto</i>	113
3.4.3 <i>Caratteristiche del traffico automobilistico</i>	121
3.4.3.1 <i>La combustione e le emissioni</i>	121
3.4.3.2 <i>I costi del carburante</i>	126
3.4.3.3 <i>I costi di utilizzo</i>	126
3.4.3.4 <i>Gli incidenti ed i costi sociali</i>	130
3.4.3.5 <i>L'energia meccanica prodotta</i>	133
3.4.3.6 <i>Il parco autoveicolare e le percorrenze</i>	136
3.4.4 <i>Caratterizzazione e Valutazione di LCA Traffico Feriale Auto</i>	137
3.4.4.1 <i>La caratterizzazione di LCA Traffico Feriale Auto</i>	137
3.4.4.2 <i>La valutazione di LCA Traffico Feriale Auto</i>	139
3.5 <i>LCA DEL TRAFFICO FERIALE DEI MOTOVEICOLI</i>	149
3.5.1 <i>Introduzione</i>	149
3.5.2 <i>Assembly dello scooter</i>	149
3.5.2.1 <i>Le caratteristiche generali</i>	149
3.5.2.2 <i>La caratterizzazione e la valutazione dell'assembly Scooter SR 50 CAT</i>	149
3.5.3 <i>Caratteristiche del traffico ciclomotoristico</i>	158
3.5.3.1 <i>La combustione e le emissioni</i>	158
3.5.3.2 <i>I costi del carburante</i>	160
3.5.3.3 <i>I costi di utilizzo</i>	160
3.5.3.4 <i>Gli incidenti ed i costi sociali</i>	163
3.5.3.5 <i>L'energia meccanica prodotta</i>	165
3.5.3.6 <i>Il parco veicolare e le percorrenze</i>	165
3.5.4 <i>Caratterizzazione e Valutazione di LCA Traffico Feriale Scooter</i>	167
3.5.4.1 <i>La caratterizzazione di LCA Traffico Feriale Scooter</i>	167
3.5.4.2 <i>La valutazione di LCA Traffico Feriale Scooter</i>	169
3.6 <i>LCA DEL TRAFFICO FERIALE DEI VEICOLI COMMERCIALI LEGGERI</i>	177
3.6.1 <i>Introduzione</i>	177
3.6.2 <i>Assembly dello furgone</i>	177
3.6.2.1 <i>Le caratteristiche generali</i>	177
3.6.2.2 <i>La caratterizzazione e la valutazione dell'assembly Furgone</i>	178
3.6.3 <i>Caratteristiche del traffico dei veicoli commerciali leggeri</i>	179
3.6.3.1 <i>La combustione e le emissioni</i>	179
3.6.3.2 <i>I costi del carburante</i>	181
3.6.3.3 <i>I costi di utilizzo</i>	181
3.6.3.4 <i>Gli incidenti ed i costi sociali</i>	184
3.6.3.5 <i>L'energia meccanica prodotta</i>	186
3.6.3.6 <i>Il parco veicolare e le percorrenze</i>	187
3.6.4 <i>Caratterizzazione e Valutazione di LCA Traffico Feriale Furgone</i>	188
3.6.4.1 <i>La caratterizzazione di LCA Traffico Feriale Furgone</i>	189
3.6.4.2 <i>La valutazione di LCA Traffico Feriale Furgone</i>	190
3.7 <i>LCA DEL TRAFFICO FERIALE DEI VEICOLI COMMERCIALI PESANTI</i>	199

3.7.1 Introduzione	199
3.7.2 Assembly dello camion.....	199
3.7.2.1 Le caratteristiche generali	199
3.7.2.2 La caratterizzazione e la valutazione dell'assembly Camion.....	201
3.7.3 Caratteristiche del traffico dei veicoli commerciali pesanti.....	206
3.7.3.1 La combustione e le emissioni	206
3.7.3.2 I costi del carburante.....	208
3.7.3.3 I costi di utilizzo.....	208
3.7.3.4 Gli incidenti ed i costi sociali	211
3.7.3.5 L'energia meccanica prodotta.....	213
3.7.3.6 Il parco veicolare e le percorrenze.....	213
3.7.4 Caratterizzazione e Valutazione di LCA Traffico Feriale Camion	215
3.7.4.1 La caratterizzazione di LCA Traffico Feriale Camion	215
3.7.4.2 La valutazione di LCA Traffico Feriale Camion.....	217
3.8 LCA DEL TRAFFICO FERIALE DEI MEZZI PUBBLICI.....	225
3.8.1 Introduzione	225
3.8.2 Assembly dell'autobus.....	225
3.8.2.1 Le caratteristiche generali	225
3.8.2.2 La caratterizzazione e la valutazione dell'assembly autobus Menarini (diesel) PD.....	227
3.8.3 Caratteristiche del traffico dei mezzi pubblici.....	235
3.8.3.1 La combustione e le emissioni	235
3.8.3.2 I costi del carburante.....	237
3.8.3.3 I costi di gestione.....	238
3.8.3.4 Gli incidenti ed i costi sociali	239
3.8.3.5 I costi ed i ricavi del servizio	241
3.8.3.6 L'energia meccanica prodotta.....	243
3.8.3.7 Il parco veicolare e le percorrenze.....	243
3.8.4 Caratterizzazione e Valutazione di LCA Traffico Feriale Autobus.....	244
3.8.4.1 La caratterizzazione di LCA Traffico Feriale Autobus.....	244
3.8.4.2 La valutazione di LCA Traffico Feriale Autobus	246
3.9 LCA DEL FINE VITA DEI VEICOLI	256
3.9.1 Introduzione	256
3.9.2 Caratteristiche del fine vita	256
3.9.2.1 I costi ed i ricavi della rottamazione.....	258
3.9.2.2 La separazione dei materiali	259
3.9.2.3 Il fine vita dei materiali	261
3.9.3 La valutazione del disposal scenario Auto	262
3.10 LCA DEL TRAFFICO COMPLESSIVO DI UN GIORNO FERIALE	266
3.10.1 Introduzione	266
3.10.2 Caratterizzazione di LCA Traffico Complessivo	268
3.10.3 Valutazione di LCA Traffico Complessivo	270
4 ANALISI DEL DANNO AMBIENTALE E DEI COSTI RELATIVI AL	
TRASPORTO DURANTE UNA GIORNATA NELLA CITTÀ DI PADOVA.	
SCENARIO AL 2010	277
4.1 INTRODUZIONE	277
4.2 DEFINIZIONE DEGLI OBIETTIVI E DEI CONFINI DELLO STUDIO.....	278
4.3 INVETARIO.....	278

4.4 LCA DELLA MANUTENZIONE STRADALE, SCENARIO 2010	281
4.5 LCA DEL TRAFFICO FERIALE DELLE AUTOVETTURE, SCENARIO 2010	281
4.5.1 Introduzione	281
4.5.2 Assembly dell'automobile	282
4.5.3 Caratteristiche del traffico automobilistico	282
4.5.3.1 La combustione e le emissioni	282
4.5.3.2 I costi del carburante	285
4.5.3.3 I costi di utilizzo	285
4.5.3.4 Gli incidenti ed i costi sociali	286
4.5.3.5 L'energia meccanica prodotta	287
4.5.3.6 Il parco autoveicolare e le percorrenze	287
4.5.4 Caratterizzazione e Valutazione di LCA Traffico Feriale Auto	288
4.5.4.1 La caratterizzazione di LCA Traffico Feriale Auto	288
4.5.4.2 La valutazione di LCA Traffico Feriale Auto	291
4.6 LCA DEL TRAFFICO FERIALE DEI MOTOVEICOLI, SCENARIO 2010	302
4.6.1 Introduzione	302
4.6.2 Assembly dello scooter	302
4.6.3 Caratteristiche del traffico ciclomotoristico	302
4.6.3.1 La combustione e le emissioni	302
4.6.3.2 I costi del carburante	305
4.6.3.3 I costi di utilizzo	305
4.6.3.4 Gli incidenti ed i costi sociali	305
4.6.3.5 L'energia meccanica prodotta	306
4.6.3.6 Il parco veicolare e le percorrenze	306
4.6.4 Caratterizzazione e Valutazione di LCA Traffico Feriale Scooter 2010 ...	307
4.6.4.1 La caratterizzazione di LCA Traffico Feriale Scooter	307
4.6.4.2 La valutazione di LCA Traffico Feriale Scooter	309
4.7 LCA DEL TRAFFICO FERIALE DEI VEICOLI COMMERCIALI LEGGERI, SCENARIO 2010	317
4.7.1 Introduzione	317
4.7.2 Assembly dello furgone	317
4.7.3 Caratteristiche del traffico dei veicoli commerciali leggeri	317
4.7.3.1 La combustione e le emissioni	317
4.7.3.2 I costi del carburante	321
4.7.3.3 I costi di utilizzo	321
4.7.3.4 Gli incidenti ed i costi sociali	321
4.7.3.5 L'energia meccanica prodotta	321
4.7.3.6 Il parco veicolare e le percorrenze	323
4.7.4 Caratterizzazione e Valutazione di LCA Traffico Feriale Furgone 2010 .	323
4.7.4.1 La caratterizzazione di LCA Traffico Feriale Furgone	324
4.7.4.2 La valutazione di LCA Traffico Feriale Furgone	325
4.8 LCA DEL TRAFFICO FERIALE DEI VEICOLI COMMERCIALI PESANTI, SCENARIO 2010	336
4.8.1 Introduzione	336
4.8.2 Assembly dello camion	336
4.8.3 Caratteristiche del traffico dei veicoli commerciali pesanti	337
4.8.3.1 La combustione e le emissioni	337
4.8.3.2 I costi del carburante	340

4.8.3.3 I costi di utilizzo.....	340
4.8.3.4 Gli incidenti ed i costi sociali	340
4.8.3.5 L'energia meccanica prodotta.....	340
4.8.3.6 Il parco veicolare e le percorrenze.....	340
4.8.4 Caratterizzazione e Valutazione di LCA Traffico Feriale Camion 2010 ..	341
4.8.4.1 La caratterizzazione di LCA Traffico Feriale Camion.....	341
4.8.4.2 La valutazione di LCA Traffico Feriale Camion.....	343
4.9 LCA DEL TRAFFICO FERIALE DEI MEZZI PUBBLICI, SCENARIO 2010.....	351
4.9.1 Introduzione	351
4.9.2 Assembly dell'autobus.....	352
4.9.3 Caratteristiche del traffico dei mezzi pubblici.....	352
4.9.3.1 La combustione e le emissioni	352
4.9.3.2 I costi del carburante.....	356
4.9.3.3 I costi di gestione.....	356
4.9.3.4 Gli incidenti ed i costi sociali	357
4.9.3.5 I costi ed i ricavi del servizio	357
4.9.3.6 L'energia meccanica prodotta.....	358
4.9.3.7 Il parco veicolare e le percorrenze.....	359
4.9.4 Caratterizzazione e Valutazione di LCA Traffico Feriale Autobus 2010.	360
4.9.4.1 La caratterizzazione di LCA Traffico Feriale Autobus.....	360
4.9.4.2 La valutazione di LCA Traffico Feriale Autobus	362
4.10 LCA DEL FINE VITA DEI VEICOLI, SCENARIO 2010	373
4.10.1 Introduzione	373
4.10.2 Caratteristiche del fine vita	373
4.10.2.1 I costi ed i ricavi del riciclaggio.....	373
4.10.2.2 Il riciclo	374
4.10.3 La valutazione del disposal scenario 2010	374
4.11 LCA DEL TRAFFICO COMPLESSIVO DI UN GIORNO FERIALE, SCENARIO 2010	375
4.11.1 Introduzione	375
4.11.2 Caratterizzazione di LCA Traffico Complessivo 2010	377
4.11.3 Valutazione di LCA Traffico Complessivo 2010	379
5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E COMMENTI.....	385
5.1 CONFRONTO TRA I DUE SCENARI REALIZZATI	385
5.2 VALUTAZIONE ECONOMICA E MONETIZZAZIONE DEI VANTAGGI ECONOMICI E AMBIENTALI	394
5.2.1 Monetizzazione del DALY	395
5.2.2 Monetizzazione del PDF·m ² ·y.....	396
5.2.3 Monetizzazione del MJ Surplus.....	397
5.2.4 Valorizzazione complessiva dei guadagni.....	398
BIBLIOGRAFIA	399
FONTI INTERNET	409

Sommario

La mobilità è una delle caratteristiche più importanti della società moderna. Essa consente agli individui di svolgere attività produttive e di provvedere al soddisfacimento di propri bisogni esistenziali, sociali e culturali.

Il sistema dei trasporti ha avuto, e continua ad avere, un ruolo prioritario nello sviluppo della società moderna: da esso dipendono il livello di benessere raggiunto sia in termini economici, sia di godimento del tempo libero e, più in generale, di ampliamento delle potenzialità individuali di mobilità. Alle attività di trasporto sono legati, tuttavia, aspetti negativi molto rilevanti, basti pensare ad esempio che ai trasporti sono imputabili circa un terzo dei consumi finali di energia in termini complessivi.

Gli spostamenti, poiché legati in massima parte ai consumi petroliferi, presentano una flessibilità minima in termini di sostituzione di fonti energetiche ed un'elevata vulnerabilità in termini di approvvigionamenti. Il traffico urbano, inoltre, costituisce oggi la fonte principale dei principali inquinanti atmosferici e delle sostanze cancerogene presenti nelle città: in ambito urbano si registrano i tassi di emissione più alti a causa sia delle basse velocità, sia dei viaggi relativamente brevi che comportano una maggiore incidenza delle percorrenze con motore a "freddo", nel senso che il propulsore non ha tempo di riscaldarsi e ciò accresce notevolmente i consumi e triplica o quadruplica le relative emissioni.

Infine i trasporti su gomma costituiscono la prima causa di incidentalità a livello europeo, con oltre 97.000 morti e 2,5 milioni di feriti nell'ultimo decennio. Le statistiche fornite dall'ISTAT, relative al 1995, indicano che gran parte degli incidenti in Italia, ben il 73%, avvengono nelle aree urbane e i dati statistici del 2000 confermano questa elevata incidenza. Anche se meno onerosi in termini di effetti sulle persone rispetto ai sinistri extraurbani, gli incidenti in ambito urbano nel 1995 hanno causato 2.654 morti, che corrispondono al 41% del totale nazionale, e 179.400 feriti, pari al 69% del valore complessivo della nazione.

Partendo da queste premesse, il presente lavoro di tesi individua una metodologia per lo studio e l'analisi delle problematiche del traffico di un centro urbano di media

grandezza allo scopo di fornire una valutazione quantitativa dell'impatto ambientale ed economico dell'intero sistema della mobilità cittadina attuale: le evidenze derivanti dall'applicazione della suddetta metodologia possono rappresentare un utile termine di paragone con ipotetici scenari alternativi, derivanti dalle politiche comunali future, evidenziando quelli che sono i guadagni che ne derivano sia dal punto di vista ambientale sia da quello strettamente economico.

Il presente studio applica la metodologia sviluppata ed effettua l'analisi del ciclo di vita del traffico veicolare urbano in un giorno feriale nella città di Padova consentendo, quindi, la valutazione del danno complessivamente determinato da ogni veicolo circolante nell'area lungo tutto il suo ciclo di vita, inteso come insieme delle tre fasi: produzione, utilizzo e smaltimento del mezzo.

Lo studio è stato organizzato, in termini di struttura concettuale, secondo le disposizioni relative alla "Valutazione del Ciclo di Vita" contenute nel documento UNI-ISO 14040 e successive modifiche, mentre il calcolo è stato effettuato secondo il metodo di valutazione olandese *Eco-Indicators 99* per mezzo del codice di calcolo ad esso collegato SimaPro 5.0.

Il lavoro è stato suddiviso in due parti principali.

La prima parte (Capitoli Uno e Due) concerne il contesto metodologico, politico e tecnico-economico di riferimento dello studio.

Nel **Capitolo Uno**, dopo una breve introduzione sugli aspetti quali-quantitativi più rilevanti in termini di mobilità, sono forniti i concetti base dell'Analisi del Ciclo di Vita (LCA) e del metodo utilizzato per lo studio: sono descritte le caratteristiche generali delle diverse tipologie di LCA, gli aspetti normativi internazionali e se ne effettua una breve analisi critica. Inoltre, è spiegato nel dettaglio il metodo di valutazione utilizzato, *Eco-Indicators 99*, introducendo le tre categorie sulle quali si valuta il danno (la salute umana, la qualità dell'ecosistema e l'esaurimento delle risorse) con le rispettive unità di misura adottate, approfondendo le prospettive

culturali attraverso le quali può essere filtrata la valutazione del danno. Inoltre viene descritto lo schema di calcolo che opera all'interno del codice SimaPro 5.0, che rappresenta lo strumento scientifico utilizzato per la realizzazione dei calcoli dello studio vero e proprio e vengono descritte le modifiche effettuate sul metodo *Eco-Indicators 99* per considerare elementi e situazioni altrimenti trascurate; le modifiche che sono state inserite riguardano la stima dei costi di uso e manutenzione, il consumo di acqua, i danni alla salute umana derivanti dagli incidenti stradali e, per quanto riguarda l'automobile, è stato considerato inoltre anche il tempo perso da ogni singolo conducente a causa della congestione e della ricerca del parcheggio..

Nel **Capitolo Due** è descritta, innanzitutto, la normativa europea in materia di regolamentazione delle emissioni e dello smaltimento delle varie tipologie di veicoli, che sono state prese in considerazione all'interno dello studio. Sono state evidenziate le linee guida della politica europea riguardanti la realizzazione entro un breve periodo di tempo di un sistema di trasporti sostenibile, ponendo particolare attenzione sugli strumenti che la Comunità Europea intende sfruttare per realizzare tale obiettivo. Successivamente è posta l'attenzione sulla definizione e l'individuazione dei costi esterni, o esternalità, collegate ai trasporti su strada che caratterizzano il traffico urbano delle città: si specifica il concetto di esternalità e le difficoltà che possono essere incontrare nella loro valutazione e vengono descritte le varie tipologie di costi esterni causati dal traffico urbano.

Il Capitolo Due descrive, quindi, gli aspetti più rilevanti in merito alle politiche di intervento ed alle tecnologie attualmente disponibili il governo e la gestione della mobilità e delle sue problematiche: questi aspetti rappresentano, infatti, la base informativa e tecnica per rendere attuali ed effettivamente realizzabili le ipotesi su cui si sviluppa il successivo capitolo Cinque.

Infine, nello stesso Capitolo Due, si accenna alle linee strategiche di sviluppo del sistema dei trasporti della città, individuate dall'amministrazione comunale di Padova; questo allo scopo di fornire gli aspetti quantitativi che avvalorano le scelte effettuate nelle ipotesi dello scenario 2010.

La seconda parte (Capitoli Tre, Quattro e Cinque) concerne lo studio propriamente detto, l'individuazione delle ipotesi di lavoro, dello scenario alternativo, i risultati ed i commenti.

Nel **Capitolo Tre** è descritta la vera e propria analisi del danno ambientale e dei costi relativi al trasporto urbano nella città di Padova. Al suo interno, oltre ai confini e allo scopo dello studio, sono descritte, da un lato, le classi veicolari che costituiscono la componente principale del traffico e che soddisfano le esigenze della mobilità privata (autovetture, furgoni, camion, moto, ciclomotori), dall'altro è stato preso in considerazione il sistema collettivo del trasporto pubblico. L'inventario dei flussi è stato necessario per determinare il numero dei veicoli circolanti. Tale analisi è stata parallelamente accompagnata da un inventario dei costi generati durante l'arco temporale di vita media attribuito a ciascun tipo di veicolo: dal momento in cui esso viene costruito, a quello in cui viene utilizzato come mezzo di trasporto, fino alla sua dismissione. Sotto tale aspetto si è operata fin dall'inizio una scelta in base alla quale i costi sono stati divisi in due categorie: individuali e sociali.

I costi individuali sono quei costi legati all'acquisto, all'uso, alla dismissione dei mezzi di trasporto privato (autovetture, ciclomotori, moto, camion, furgoni) che ciascun individuo sostiene. In essi sono contemplati, però, anche i costi per l'acquisto del biglietto dell'autobus.

I costi sociali sono sia le spese, in parte finanziate da capitali pubblici, sostenute dall'azienda dei trasporti del Comune di Padova, APS Mobilità per l'acquisto, la manutenzione, la dismissione degli autobus, sia i costi che la società (la collettività) sopporta a seguito dei giorni di degenza degli infortunati per sinistri stradali, ma anche il reddito che non prodotto dall'individuo che è stato vittima di un incidente mortale.

I risultati ottenuti, unitamente alle linee guida individuate nel Piano Urbano della Mobilità, di cui si è dato conto nell'ultimo paragrafo del Capitolo Due, sono stati utilizzati all'interno del **Capitolo Quattro** come base informativa per la

realizzazione delle proposte di riorganizzazione e razionalizzazione dell'attuale situazione del trasporto ("Scenario 2010"). Per pervenire a questi risultati si è innanzitutto aggiornato il parco veicoli alle dimensioni previste dal PUM per l'anno 2010 e si è provveduto, quindi, ad individuare una diversa distribuzione dei veicoli, supponendo l'adozione delle politiche e delle tecnologie descritte nel Capitolo Due. Le proposte di intervento, inoltre, consistono: nella riduzione del numero di veicoli privati circolanti nell'area urbana e nel contemporaneo aumento della capacità della rete di trasporto pubblico, affinché sia in grado di assorbire i nuovi utenti e di soddisfare le differenti esigenze di spostamento dei cittadini; nel prevedere un'evoluzione del parco delle autovetture, dei furgoni e degli autobus dal punto di vista dei combustibili, passando dall'uso di benzine o di gasolio al gas naturale o da altre tipologie alternative di alimentazione, come ad esempio la propulsione elettrica; nel miglior sfruttamento, per quanto attiene il trasporto merci, della capacità dei veicoli. Sul piano della destinazione dei veicoli radiati, in vista delle gravi conseguenze causate dall'abbandono diretto del veicolo nell'ambiente e della recente direttiva comunitaria che ha stabilito percentuali di recupero e riciclaggio crescenti, si è fatta l'ipotesi che essi vengano interamente riciclati. Sono stati, quindi, quantificati impatti sull'ambiente e sulla salute umana dovuti al nuovo scenario, nonché la variazione delle due categorie di costo individuali e sociali.

Nel **Capitolo Cinque** sono stati confrontati i due scenari precedentemente analizzati, mettendo in evidenza il guadagno ambientale ed economico derivante dalla riduzione dei flussi veicolari, dalla progressiva trasformazione delle tipologie di alimentazione dei veicoli e dal potenziamento del servizio pubblico, che ricopre un ruolo fondamentale nell'ipotesi creata poiché esso si fa carico dell'intera utenza che non utilizzerà il trasporto privato. Infine, si è tentato di effettuare una monetizzazione di quelle grandezze non direttamente esprimibili in termini economici per giungere all'individuazione di una cifra complessiva che rappresenti il guadagno totale connesso alla realizzazione delle ipotesi descritte.

1 Introduzione

- Lei ha fatto l'università?
- Troppo tempo fa. Qualche volta ho l'impressione di averlo sognato. Ma ci sono stato, sì.
- Quante persone strane ha conosciuto all'università?
- Non era una percentuale allarmante.
- Ma sorprendente sì, sia sincero.
- Sorprendente, sì.

(Manuel Vázquez Montalbán
Gli uccelli di Bangkok)

1.1 Obiettivi dello studio

E' noto che il settore dei trasporti è tra quelli a più alto sfruttamento energetico della nostra società, poiché richiede, per soddisfare la domanda di mobilità di persone e di merci, all'incirca un terzo delle risorse energetiche annualmente consumate. Da questo dato si può intuire che una particolare attenzione deve essere rivolta a questo settore, poiché si possono ottenere considerevoli risparmi di combustibili, se si riescono a adottare provvedimenti efficaci, ma anche, ove ciò non avvenisse, ridurre i forti sprechi di risorse energetiche e gli effetti pesantemente negativi nei confronti dell'ambiente.

La mobilità è una delle caratteristiche più importanti della società moderna; consente agli individui di svolgere attività produttive e di provvedere al soddisfacimento di propri bisogni esistenziali, sociali e culturali. Il sistema dei trasporti ha avuto e continua ad avere un ruolo prioritario nello sviluppo della società contemporanea; da esso dipendono il livello di benessere raggiunto sia in termini economici, sia di godimento del tempo libero e, più in generale, di ampliamento delle potenzialità individuali di mobilità. Alle attività di trasporto sono legati tuttavia aspetti negativi molto rilevanti, basti pensare ad esempio che ai trasporti sono imputabili circa un terzo dei consumi finali di energia. Inoltre gli spostamenti attuali, poichè legati in massima parte ai consumi petroliferi, presentano una flessibilità minima in termini di sostituzione di fonti energetiche ed un'elevata vulnerabilità in termini di approvvigionamenti.

Il traffico urbano, inoltre, costituisce oggi la fonte maggiore dei principali inquinanti atmosferici e delle sostanze cancerogene presenti nelle città. La qualità dell'aria che respiriamo è seriamente compromessa dall'inquinamento prodotto dal traffico: in ambito urbano si registrano i tassi di emissione più alti a causa sia delle basse velocità, sia dei viaggi relativamente brevi che comportano una maggiore incidenza delle percorrenze con motore a "freddo", nel senso che il propulsore non ha tempo di riscaldarsi e quindi ciò accresce notevolmente i consumi e triplica o quadruplica le relative emissioni.

Infine i trasporti su gomma costituiscono la prima causa di incidentalità a livello europeo, con oltre 97.000 morti e 2.500.000 feriti nell'ultimo decennio. Le statistiche fornite dall'ISTAT, relative al 1995, indicano che gran parte degli incidenti automobilistici in Italia, ben il 73%, avvengono nelle aree urbane e i dati statistici del 2000 confermano questa elevata incidenza. Anche se meno onerosi in termini di effetti sulle persone rispetto ai sinistri extraurbani, gli incidenti in ambito urbano nel 1995 hanno causato 2.654 morti, che corrispondono al 41% del totale nazionale, e 179.400 feriti, pari al 69% del valore complessivo della nazione.

La convinzione dell'incompatibilità ambientale dell'attuale sistema di trasporto urbano e della necessità di profonde modifiche, che coinvolgano la stessa struttura delle città, fa ormai parte di un sentire comune, secondo cui all'idea di traffico è associata automaticamente quella d'inquinamento e di danni alla salute. Come evidenziano numerose indagini, i cittadini, pur usufruendo in pieno dei vantaggi della civiltà dell'autovettura privata, sentono l'esigenza del cambiamento. Negli ultimi anni, infatti, si è sviluppata una coscienza ambientale diffusa che non vede nell'auto solo uno strumento di libertà individuale, ma anche una delle principali cause di degrado ambientale.

Partendo da queste premesse il presente lavoro di tesi individua e sviluppa una metodologia che, sfruttando dati di facile reperimento, consente di stimare e valutare l'impatto ambientale ed economico della mobilità urbana. Fa uso di un software commerciale, il SimaPro v. 5.0 sviluppato da *Prè*, per lo studio dell'analisi del ciclo di vita (LCA) e produce risultati facilmente valutabili e confrontabili, grazie

alla standardizzazione delle grandezze considerate e alla notevole diffusione del software utilizzato.

Come applicazione della metodologia, il lavoro analizza e valuta il sistema dei trasporti della città di Padova, relativamente al suo centro storico, e ne confronta gli impatti con uno scenario ipotetico proiettato a medio termine ("Scenario 2010"), realizzato a partire dalle informazioni presenti nel Piano Urbano della Mobilità redatto dal Comune di Padova a fine 2001 e sviluppato in un'ottica di sostenibilità, riorganizzazione e razionalizzazione del sistema, prevedendo un incremento sensibile dell'utilizzo del trasporto pubblico ed una progressiva riduzione del numero di veicoli privati circolanti, siano essi a due o quattro ruote.

I risultati ottenuti sono, successivamente, confrontati per dimostrare la sostenibilità economica ed i vantaggi ambientali derivanti dall'implementazione delle ipotesi e delle politiche alla base dello Scenario 2010.

1.2 Le problematiche della mobilità¹

L'importanza del settore dei trasporti su gomma è dimostrata dal fatto che le moderne economie hanno come elemento cardine del loro sviluppo le attività di trasporto. I rilevanti investimenti in infrastrutture e tecnologie impiegate trovano difficoltà sempre maggiori nel soddisfare le esigenze di una società che necessita sempre più di forme efficienti di mobilità ma è sempre meno incline ad accettare cronici ritardi nei servizi. L'intera politica europea dei trasporti si trova di fronte ad un'impellente necessità di cambiamento e di miglioramento, nel rispetto, però, di uno sviluppo sostenibile del sistema e di una sua maggiore efficienza.

Un sistema di trasporti efficiente, infatti, è uno degli elementi che maggiormente contribuisce alla crescita ed alla competitività delle città. Tuttavia, i livelli sempre più elevati di saturazione del traffico stradale, dovuti soprattutto alla crescita continua della domanda di mobilità ed al cambiamento nell'utilizzo dei modi di

¹ I dati sono frutto di elaborazioni ENEA effettuate a partire dalle stime sui volumi di traffico del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti: le stime, in termini di veicoli-km, sono suddivise nelle cinque macrocategorie veicolari: autovetture, motocicli, bus, veicoli commerciali leggeri (detti anche LDV – Light Duty Vehicles con portata utile minore di 3,5 t), veicoli merci pesanti (detti anche HDV – High Duty Vehicles). Cfr. AA. VV., *Rapporto Energia e Ambiente 2001*, ENEA, Roma, 2001.

trasporto con il massiccio ricorso all'autovettura privata, rendono sempre più difficile l'accesso a molte città e la circolazione all'interno delle stesse.

1.2.1 Il trasporto passeggeri

I modelli di evoluzione urbana che hanno caratterizzato la crescita delle città europee degli ultimi quarant'anni, la crescita economica ed i cambiamenti nello stile di vita hanno portato ad un forte aumento della mobilità e delle distanze percorse nelle aree urbane, cui si è abbinato un mutamento sensibile nell'utilizzo di modalità di trasporto che fanno uso principalmente del veicolo privato. Il peso delle auto sulle altre modalità di trasporto passeggeri è cresciuto in Italia in modo costante, soprattutto rispetto al trasporto pubblico, passando da una quota del 76,3% del 1985 ad un valore dell'84,2% nel 1995. Questo netto cambiamento a favore dell'utilizzo dell'autovettura privata è confermato anche dai dati ACI sulla composizione del parco circolante stradale, che risulta composto per il 74% da automobili, per il 18% da motocicli e ciclomotori, per il 5% da veicoli commerciali leggeri e per il 3% da autobus e da veicoli commerciali pesanti.

Negli ultimi anni la crescita della mobilità passeggeri in Italia è stata superiore a quella dei principali paesi europei. Secondo le stime fornite dal Conto Nazionale dei Trasporti (CNT), dal 1985 al 1998 il volume del traffico passeggeri è passato da 527 miliardi a 869 miliardi di passeggeri-chilometro. Il fattore caratteristico del traffico urbano dei passeggeri per modalità di trasporto è dato dalla netta predominanza del trasporto su gomma, sia esso pubblico o privato, nei confronti di modalità alternative, il trasporto ferroviario in primis. Complessivamente nel 1998 la quota del trasporto stradale è stata pari al 92%, cui ha contribuito in modo significativo l'autovettura privata (82%), un fenomeno che negli ultimi anni ha avuto una crescita superiore a quella degli altri tipi di veicoli, soprattutto nelle città, e che è tuttora in aumento.

Il quadro evolutivo del traffico urbano relativo al decennio 1990-2000 conferma questa tendenza di fondo che contraddistingue l'entità e la struttura della mobilità dei centri urbani. In particolare la mobilità passeggeri nelle aree cittadine è stata in costante aumento con ritmi maggiori rispetto a quella generale. Il volume dei

passengeri-km è passato da circa 176,7 miliardi a circa 234 miliardi (+32%), con un tasso medio annuo di incremento del 2,8%. Il maggior sviluppo si è registrato nel settore del trasporto privato (+35%), mentre il trasporto collettivo urbano ha realizzato un aumento di solo il +5%. Complessivamente la quota di traffico passeggeri in ambito cittadino coperta da modalità di trasporto privato è aumentata dal'89% del 1990 al 92% del 2000, a svantaggio complessivamente del trasporto pubblico.

Nel settore del trasporto privato, il traffico complessivo realizzato su auto è cresciuto del 28%, passando da 137 a 176 miliardi di passeggeri-km. Il tasso di crescita annuo di questo tipo di mobilità è stato più alto nel periodo 1990-1995 (+3,2%) contro un +1,8% del periodo 1995-2000. Nel 2000, il 72% del traffico passeggeri è stato realizzato con auto privata. Relativamente al periodo 1990-2000, il traffico realizzato da veicoli a due ruote nei centri urbani è passato da circa 23 a circa 40 miliardi di passeggeri-km.

Nello stesso arco di tempo (1990-2000), la mobilità su MPL (Mezzi Pubblici Locali) è passata in termini assoluti da circa 16 miliardi di passeggeri-km del 1990 a circa 16,6 miliardi di passeggeri-km del 2000 (+5,2%). Tra le modalità di trasporto pubblico locale, le autolinee sono quelle che rivestono maggiore importanza (nel 1990 sono quelle che hanno realizzato circa il 72,5% del traffico collettivo) anche se, nell'ultimo decennio, sono apparsi evidenti segni di crisi: nonostante la forte crescita della mobilità urbana, il traffico dei passeggeri realizzato dalle autolinee urbane nel periodo 1990-2000 è passato da 11,6 a 10,9 miliardi (-5,8%).

Per quanto riguarda le prestazioni energetiche, le stime evidenziano che, nel periodo di riferimento 1990-2000, il consumo energetico del trasporto urbano passeggeri è aumentato del 25,3%, passando da circa 9,6 Mtep (milioni di tonnellate equivalenti petrolio) a 12,1 Mtep, corrispondente a circa il 30% del consumo annuo finale di energia nel settore dei trasporti. Nel 2000 il consumo finale di energia assorbito dal trasporto privato è risultato pari a circa il 97% del consumo finale di energia del trasporto passeggeri urbano.

1.2.2 Il trasporto merci

La distribuzione delle merci nei centri urbani, eseguita prevalentemente in conto proprio con veicoli di portata non superiore alle 3,5 tonnellate, è sempre più caratterizzata da una forte frammentazione delle operazioni e delle consegne che deriva dalla esigenza di comprimere le quantità di merci stoccate nei magazzini dai negozianti, nonché di accorciare i tempi tra il ricevimento degli ordini e la consegna. Ciò ha condotto ad un aumento del numero dei viaggi e delle percorrenze nonché ad un limitato utilizzo della capacità di trasporto dei veicoli che viaggiano con coefficienti di carico piuttosto bassi. Nel periodo di riferimento 1990-2000, il traffico delle merci realizzato prevalentemente da autocarri leggeri è aumentato del 17,4%, passando da 26,8 a 31,5 miliardi di tonnellate-km.

E' stato stimato che nel 2000 l'incidenza del traffico veicolare merci sul traffico veicolare complessivo in ambito cittadino sia stata pari a circa il 15,7%. L'attività di distribuzione delle merci nelle aree urbane ha assorbito nel 2000 una quota di poco superiore a 4 Mtep (milioni di tonnellate equivalenti petrolio) che corrisponde a circa il 10% del consumo finale di energia del settore trasporti.

1.2.3 Criticità del sistema

Le conseguenze negative dei livelli di saturazione del traffico si manifestano in termini di aumento dell'inquinamento atmosferico ed acustico, di spreco energetico, di aumento degli incidenti, di occupazione di spazio, di intrusione visiva.

E' indubbio che, senza politiche di governo razionali, i trasporti urbani seguiranno dinamiche insostenibili con ripercussioni negative sull'efficienza economica delle città, sulla qualità dell'ambiente e, più in generale, sulla qualità della vita.

Tempi di viaggio più lunghi ed incerti, aumento degli incidenti, rumore, inquinamento ambientale, occupazione del suolo da parte dei veicoli, aumento dei consumi energetici, sono tra le più vistose e significative conseguenze della forte crescita in termini quantitativi e qualitativi della mobilità privata nelle aree urbane.

La congestione delle reti infrastrutturali, in larga misura concentrata nelle aree urbane, aumenta a ritmi estremamente sostenuti in quasi tutte le città europee. È stato stimato che la congestione stradale dei paesi membri dell'UE, valutata in

termini di perdita di tempo produttivo, rappresenta circa il 2% del PIL; questa cifra comporta per l'Unione Europea un costo complessivo dell'ordine di 120 miliardi di euro l'anno.

In assenza di interventi correttivi la domanda di mobilità è destinata a crescere ulteriormente. Per valutare le prospettive future della mobilità dei passeggeri occorre considerare alcuni dei fattori del medio-lungo periodo, che spingono ulteriormente verso uno sviluppo della domanda di mobilità, quali la crescita del reddito, l'aumento del tempo libero, il decentramento delle attività produttive e delle residenze; ma devono essere considerati anche quelli che al contrario frenano tale richiesta, quali, ad esempio, il raggiungimento graduale del livello di saturazione del tasso di motorizzazione, la carenza delle infrastrutture, l'aumento dell'inquinamento sia atmosferico che acustico, i costi collegati agli incidenti stradali.

In generale le proiezioni future più accreditate della mobilità passeggeri in ambito urbano sono di ulteriore crescita: il potenziale di crescita annua del traffico urbano fino al 2010 è stimato tra l'1,2% ed il 2%.

Il conseguimento di una mobilità sostenibile nelle aree urbane è diventato negli ultimi anni un aspetto prioritario delle politiche nazionali in materia di trasporti ed ambiente. La riduzione dell'uso delle autovetture private a favore di modalità di trasporto più sostenibili, il contenimento della lunghezza e del numero degli spostamenti, lo sviluppo del trasporto combinato costituiscono punti rilevanti delle strategie dell'Unione Europea e delle azioni in atto nelle città europee più importanti. Per conseguire gli obiettivi di sostenibilità individuati dagli organi comunitari, sono previste politiche volte a ridurre i consumi energetici e limitare gli impatti sulla salute umana e sulla sicurezza ma non possono prescindere dal cambiamento nelle abitudini acquisite dalla popolazione, contenendo i consumi e le emissioni specifiche del parco circolante, riorganizzando il trasporto delle merci e limitando l'impatto sul territorio mediante una razionalizzazione delle infrastrutture.

1.3 La metodologia LCA

L'analisi del ciclo di vita trae origine dalla crescente attenzione del pubblico, e quindi del settore industriale, nei confronti delle problematiche ambientali. Gli aspetti normativi di tutela sia della salute umana che dell'ambiente hanno contribuito fortemente alla diffusione di pratiche che consentissero di ridurre l'impatto dei prodotti, dalla fase di produzione a quella di smaltimento.

Secondo la SETAC *"[...] l'LCA è un processo che permette di valutare gli impatti ambientali associati ad un prodotto, processo o attività, attraverso l'identificazione e la quantificazione dei consumi di materia, energia ed emissioni nell'ambiente e l'identificazione e la valutazione delle opportunità per diminuire questi impatti. L'analisi riguarda l'intero ciclo di vita del prodotto ("dalla culla alla tomba"): dall'estrazione e trattamento delle materie prime, alla produzione, trasporto e distribuzione del prodotto, al suo uso, riuso e manutenzione, fino al riciclo e alla collocazione finale del prodotto dopo l'uso [...]"* (SETAC, 1993).

L'LCA rappresenta una metodologia di analisi che consente di comprendere, valutare e, conseguentemente, ridurre i possibili impatti sia dei prodotti realizzati, sia di quelli che una volta utilizzati esauriscono la loro vita operativa e devono essere smaltiti.

La sua standardizzazione è opera dell'ISO (*International Organization for Standardization*) che ha definito ed emanato una norma che offre riferimenti per la corretta applicazione dell'analisi del ciclo di vita (norma europea UNI EN ISO 14040, approvata dal CEN, Comitato Europeo di Normazione, il 29 giugno 1997).

Il forte impulso all'adozione dell'analisi del ciclo di vita è connesso ai suoi molteplici usi in quanto, oltre alla mera valutazione dell'impatto ambientale del singolo prodotto, esso rappresenta un valido strumento di supporto per l'ottimizzazione dei cicli prodotti (con conseguenti risparmi economici), per la scelta delle migliori strategie di marketing, di investimento, di progettazione, consente la realizzazione di una base informativa oggettiva per la redazione di regolamenti di tutela ambientale ma, soprattutto, permette l'individuazione dei processi critici, nei confronti dell'ambiente, all'interno del ciclo produttivo con la possibilità di

realizzare miglioramenti significativi intervenendo, ad esempio, sulla scelta dei materiali, delle tecnologie e degli imballaggi.

L'LCA non è quindi solo un mezzo per la tutela dell'ambiente; esso può anche rappresentare un importante strumento per il rafforzamento delle dinamiche competitive e di riduzione e controllo dei costi.

Nella realizzazione della metodologia, sarà necessario trovare dei compromessi tra rigore scientifico e semplicità, per cui il tipo di informazione che viene fornito sarà un indicatore di tipo semplificato, in particolar modo per qu

1

per comprendere gli scambi globali o generali. Confrontare i risultati di differenti studi di LCA, è possibile solamente se le ipotesi e il contesto di ciascuno studio sono i medesimi. Per ragioni di trasparenza queste assunzioni dovrebbero essere così esplicitamente dichiarate.

1.3.1 *Tipi di LCA*

1.3.1.1 Livelli di sofisticazione dell’LCA

I possibili utilizzi di un LCA possono essere differenti a seconda dell’utilizzo, interno o esterno, dei risultati ed anche a seconda della tipologia dei destinatari (industria, governi nazionali o locali, consumatori). Uno studio di LCA può essere realizzato, inoltre, più o meno dettagliatamente in relazione allo scopo e agli obiettivi dello studio.

I principali tipi di LCA sono:

Streamlined LCA – (LCA semplificato): è un’applicazione esauriente che copre il ciclo di vita completo ma usa dati generici, sia di carattere quantitativo che qualitativo, per valutazioni semplificate sui più importanti aspetti ambientali. Lo scopo dell’LCA semplificato è quello di fornire essenzialmente gli stessi risultati di un LCA dettagliato ma con una significativa riduzione di tempi e di costi. Questa riduzione potrebbe essere tale da inficiare l’accuratezza e l’affidabilità dei risultati; il primo obiettivo da perseguire sarà quindi quello di individuare le aree dello studio che possano essere omesse o semplificate senza compromettere il risultato completo.

La semplificazione del metodo si basa su tre stadi che sono iterativamente legati:

- indagine: identificare le parti del ciclo di vita più importanti o quelle che presentano lacune di dati;
- semplificazione: impostare il lavoro sulle parti ritenute più importanti del sistema, sulla base dei risultati dell’indagine precedente;
- valutazione dell’affidabilità: verificare che le semplificazioni introdotte non riducano in modo significativo l’affidabilità del risultato complessivo.

L’LCA semplificato può essere utilizzato per scopi esterni all’azienda, se presentato in accordo con le prescrizioni contenute nella ISO standard 14040, anche se molti

LCA semplificati, vengono utilizzati per scopi interni all'azienda, senza regole formali per l'attività di reporting.

Per evitare fraintendimenti nell'interpretazione dei risultati l'utilizzatore di questo tipo di LCA dovrebbe essere messo al corrente delle limitazioni che caratterizzano lo studio.

Recentemente sono sorti diversi gruppi di ricerca a livello internazionale (*Streamlined LCA Working Group - SETAC, 1999*) con l'obiettivo di individuare delle strategie semplificative capaci di rendere più veloce e meno dispendioso lo studio, senza tuttavia perdere l'accuratezza e l'attendibilità dei risultati. La semplificazione si realizza attraverso alcuni accorgimenti:

- eliminazione dei flussi *UPSTREAM* (a monte dell'azienda). Sono esclusi i processi dovuti alle attività dei fornitori e relativi alla produzione delle materie prime mentre sono inclusi la fabbricazione del prodotto finito, l'uso e il fine vita;
- eliminazione dei flussi *DOWNSTREAM* (a valle dell'azienda). Sono esclusi i processi che comprendono il trasporto, l'utilizzo e il fine vita del prodotto;
- focalizzazione dello studio su specifici impatti considerando, di conseguenza, solamente i dati relativi ad essi;
- utilizzo di dati stimati qualitativamente o relativi a processi simili, quando non è possibile recuperare dati quantitativi dettagliati.

Non è però possibile definire a priori un metodo di semplificazione che consenta di ottenere risultati sicuramente comparabili con quelli di un LCA dettagliato; per questo il metodo va scelto con attenzione, sulla base degli obiettivi specifici proposti.

Screening LCA – (LCA di selezione): usato più comunemente quando devono essere identificate azioni chiave per il miglioramento ambientale nel ciclo di vita dei prodotti. La sua caratteristica principale è quella di far uso di strumenti software che aiutano a gestire la realizzazione di LCA, facendo riferimento a dati già disponibili da banche dati o stimati con approssimazione. Dai risultati ottenuti, e a seguito di un'analisi di sensitività, s'individuano i dati critici sui cui intervenire. E' un sistema rapido per consentire di valutare gli aspetti realmente importanti del ciclo di vita, su cui focalizzare l'attenzione.

Detailed LCA – LCA dettagliato: è necessario in tutti quei casi nei quali è richiesta una valutazione completa. Potrebbe essere utile, ad esempio, dopo aver identificato i punti chiave con uno Screening LCA, per approfondire i risultati ottenuti, o, nel caso in cui i risultati dello studio siano utilizzati per comunicazioni pubbliche (poiché necessitano di una credibilità molto alta). Uno studio dettagliato prevede un miglioramento della qualità dei dati e, invece che riferirsi a dati standard o dati secondari, procede con la raccolta e l'utilizzo di dati specifici del caso in esame forniti dalle stesse Aziende (in genere è la fase che richiede maggiore tempo).

1.3.2 Metodologia

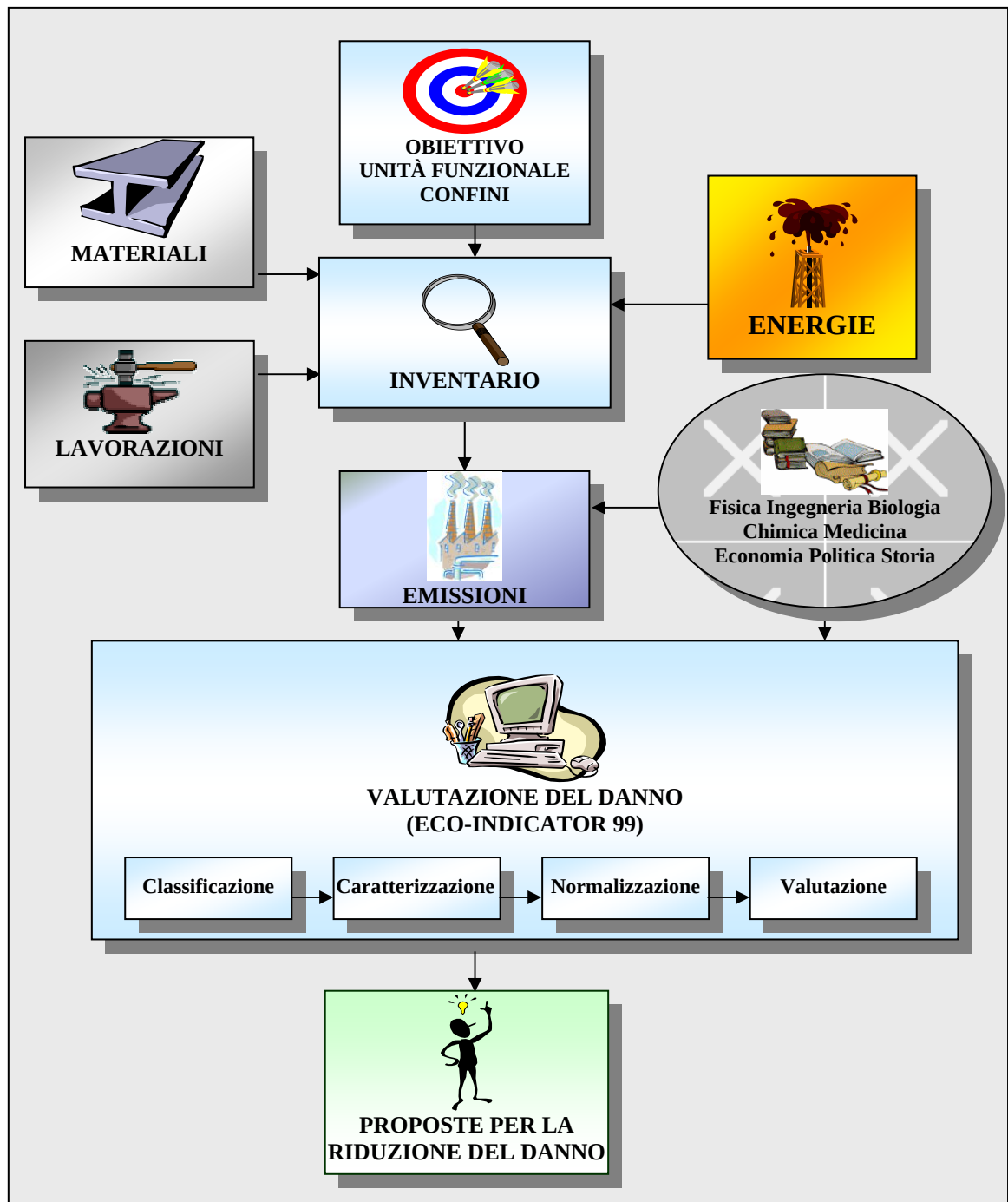
1.3.2.1 La metodologia

L'elaborazione di un LCA, secondo la procedura indicata da SETAC, si articola essenzialmente in quattro fasi :

- definizione dell'obiettivo e del campo d'applicazione dello studio (*Goal and scope Definition*);
- analisi dell'inventario (*Life Cycle Inventory - LCI*), nella quale si compila un inventario d'ingressi (cioè materiali, energia, risorse naturali) ed uscite (emissioni in aria, acqua, suolo) rilevanti del sistema;
- valutazione degli impatti (*Life Cycle Impact Assessment - LCIA*) ambientali potenziali, diretti ed indiretti, associati a questi input ed output;
- analisi dei risultati e valutazione dei miglioramenti (*Life Cycle Interpretation*) delle due fasi precedenti ossia la definizione delle possibili linee d'intervento.

La descrizione della struttura concettuale della Valutazione del Ciclo di Vita è, come già detto, riportata all'interno del documento UNI ISO 14040 e collegati, e si articola secondo lo schema rappresentato in Figura 1.

Figura 1 - Schema dell'Analisi del Ciclo di Vita secondo UNI ISO 14040



1.3.2.2 Definizione, obiettivo e campo di applicazione (UNI EN ISO 14041)

La fase preliminare di definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione rappresenta uno stadio rilevante nello sviluppo di uno studio perché chiarisce la ragione principale per la quale si esegue l'LCA (comprendendo anche l'utilizzazione che si farà dei risultati), descrive il sistema oggetto dello studio e i suoi confini, elenca le categorie di dati da sottoporre allo studio ed individua il livello di dettaglio che si vuole raggiungere. Fornisce, in sintesi, la pianificazione iniziale per effettuare uno studio di LCA.

Essendo una fase fondamentale dello studio possiede una struttura molto articolata occorre definire:

- Obiettivo dello studio, che comprende:
 - o motivazioni per eseguire lo studio;
 - o applicazioni previste;
 - o destinatari dello studio (utilizzatori interni o esterni dei risultati ottenuti);
- Campo di applicazione dello studio: deve essere sufficientemente definito, al fine di assicurare che l'ampiezza, la profondità e il dettaglio dello studio siano compatibili con l'obiettivo stabilito e adeguati per conseguirlo. Nella sua redazione si considerano i seguenti argomenti:
 - o funzioni del sistema: rappresentano le caratteristiche e le prestazioni del prodotto;
 - o unità funzionale: indica il riferimento rispetto al quale tutti i dati che compongono il bilancio ambientale del sistema in esame saranno normalizzati. La scelta deve essere fatta intendendo per unità funzionale la prestazione quantificabile e oggettivamente riscontrabile di un prodotto, per consentire la comparabilità dei risultati dell'LCA;
 - o confini iniziali del sistema prodotto: determinano le unità di processo che devono essere incluse nell'LCA. E' utile rappresentare attraverso un diagramma di flusso le unità di processo e le loro interrelazioni;

- o descrizione della qualità dei dati utilizzati: questa fase è importante per stabilire l'affidabilità dei risultati dello studio; spesso infatti la precisione delle informazioni è scarsa o nulla ed è necessario ricorrere alla letteratura.

1.3.2.3 Analisi d'inventario del ciclo di vita (UNI EN ISO 14041)

E' la fase più delicata e dispendiosa in termini di tempo di un LCA, in quanto rappresenta la base informativa per le fasi successive.

Seguendo la definizione della ISO 14041, in questa fase che sono “[...] *individuati e quantificati i flussi in ingresso e in uscita da un sistema - prodotto, lungo tutto la sua vita* [...]”. Sono identificati e determinati i consumi di risorse (materie prime e prodotti riciclati, acqua), d'energia (termica ed elettrica) e le emissioni in aria, acqua e suolo. Al termine la struttura assumerà l'aspetto di un vero e proprio bilancio ambientale. Il procedimento per condurre l'analisi d'inventario è iterativo. Man mano che i dati raccolti diventano più approfonditi ed il sistema è meglio conosciuto, possono essere identificati nuovi requisiti o limitazioni, che potranno anche comportare cambiamenti nelle procedure di raccolta dei dati, affinché siano ancora soddisfatti gli obiettivi dello studio.

L'inventario può essere suddiviso in quattro moduli:

- schema del diagramma di flusso (*Process flow - chart*): il diagramma di flusso del processo consiste in una rappresentazione grafica e qualitativa di tutte le fasi rilevanti e di tutti i processi coinvolti nel ciclo di vita del sistema analizzato. E' composto da sequenze di processi (*boxes*), collegati da flussi di materiali (*arrows*). La sua caratteristica fondamentale è quella di dividere un sistema in vari sottosistemi, esplicitare azioni d'interconnessione (le uscite di un sottosistema a monte sono le entrate di un sottosistema a valle) ed individuare le parti del processo che hanno una maggiore rilevanza, soprattutto in termini ambientali, per evitare di attribuire lo stesso grado d'attenzione a tutte le fasi;
- raccolta dati (*Data collection*): la raccolta dei dati richiede un impegno molto elevato, in termini di tempo e di risorse, a causa delle mole delle informazioni

necessarie, che comprendono tutte le fasi del processo produttivo (spesso anche di difficile reperibilità). I dati raccolti possono essere distinti in tre categorie:

- o dati primari, provenienti da rilevamenti diretti;
- o dati secondari, ricavati sia dalla letteratura, come database di software specifici (BUWAL, CETIOM, CBS, IVAM) e manuali tecnici, sia da altri studi e da calcoli ingegneristici;
- o dati terziari, provenienti da stime e da operazioni analoghe, da dati relativi a test realizzati in laboratorio, da statistiche ambientali e da valori medi.

Il metodo seguito per la raccolta dei dati prevede l'allestimento di un questionario o di un data sheet che permette di collocare tutte le informazioni ordinatamente, così da poter risalire facilmente all'origine di ciascuna. Quando si raccoglie il set di dati, è necessario controllare che questi siano concreti e coerenti. Oltre agli impatti relativi al processo, devono essere definiti anche i dati riguardanti:

- o impatti e consumi relativi all'energia elettrica importata nel sistema. È necessario chiarire quale sia il contesto di riferimento (Regionale, Nazionale, Comunitario) per procedere alla valutazione del mix di combustibili che concorrono alla produzione del kW elettrico sfruttato, l'efficienza globale del sistema ed i relativi impatti sull'ambiente;
 - o impatti e consumi relativi al sistema di trasporti. I prodotti, infatti, possono essere trasportati con numerosi mezzi, ciascuno con un impatto differente per unità di prodotto trasportato. Ad esempio, attraverso il codice SimaPro 5.0 si ottiene che un prodotto trasportato su autocarro produce, quale effetto indiretto sull'ambiente, un'emissione di NO_x pari a 1,0332 g/(t-km), mentre il trasporto su ferrovia produce un'emissione pari a 0,0401 g/(t-km).
- definizione delle condizioni al contorno (*System boundaries*): in questa fase si definiscono:
 - o il confine tra il sistema studiato e l'ambiente. Deve essere specificato il carico sull'ambiente, rappresentato da tutte le estrazioni e le immissioni che avvengono durante l'intero ciclo di vita;

- o il confine fra i processi ritenuti rilevanti e quelli irrilevanti. In questa fase si decide l'estensione dello studio, stabilendo ciò che deve essere incluso e ciò che, invece, deve essere trascurato. Si tiene in considerazione lo scopo dello studio, precedentemente definito, e ci si basa su considerazioni pratiche, fondate sull'opportunità di non coinvolgere elementi che, di fatto, non hanno una rilevanza sostanziale sui risultati finali.
- elaborazione dei dati (*Data Processing*): raccolti i dati, questi vengono correlati a tutte le unità di processo che concorrono alla produzione dell'unità funzionale in studio (ad es. l'ammontare di energia elettrica utilizzata nella produzione, i kg di materie prime utilizzate) dove, per ciascuna unità di processo, si determinerà un appropriata unità di misura per il flusso di riferimento (ad es. 1 kg di materiale o 1 MJ di energia). Successivamente i dati riguardanti l'impatto ambientale vengono trasformati e riferiti all'unità funzionale di prodotto, attraverso la definizione di un fattore di contribuzione che esprime il contributo di ciascun processo rispetto alla produzione di un'unità funzionale, espressa attraverso l'unità di misura prescelta. Questo procedimento dovrà essere eseguito per tutte le sostanze presenti in ciascun processo. Un problema che può presentarsi durante questa fase riguarda la ripartizione dei consumi e degli impatti relativi a prodotti differenti generati da uno stesso processo produttivo. E' importante cercare di conoscere nel dettaglio il processo produttivo al fine di poter attribuire ad ogni prodotto ottenuto la quota spettante di materia prima, energia consumata e quindi anche i rispettivi impatti in aria, acqua e rifiuti. Quando ciò non risulti possibile, perché, ad esempio, in uno stesso processo sono lavorati più categorie di prodotti, si procede ad una ripartizione dei consumi e dei relativi impatti attraverso una suddivisione:
 - o per via ponderale: quantità consumate assegnate in base al peso dei diversi prodotti;
 - o in base al valore economico di ciascun prodotto;
 - o in funzione all'importanza dei vari prodotti.

1.3.2.4 La Valutazione di Impatto (UNI EN ISO 14042)

La valutazione degli impatti del Ciclo di Vita (LCA) consiste in un processo tecnico - quantitativo e/o qualitativo per caratterizzare e valutare gli impatti ambientali delle sostanze identificate nella fase di inventario. In questo *step* sono valutati, infatti, gli effetti sulla salute e sull'ambiente indotti dal prodotto nel corso del suo ciclo di vita. Il livello di dettaglio, la scelta degli impatti valutati e le metodologie da utilizzare dipendono dall'obiettivo e dal campo d'applicazione dello studio.

La struttura concettuale della Valutazione di Impatto fa riferimento alla ISO 14042 che la definisce e standardizza nelle fasi descritte di seguito.

- scelta e definizione delle categorie d'impatto: in questa prima fase sono identificate le tipologie d'impatto per mezzo delle quali agisce il sistema in esame. Per la definizione di queste categorie occorre rispettare tre caratteristiche:
 - o completezza: comprendere tutte le categorie, a breve e a lungo termine, su cui il sistema potrebbe influire;
 - o indipendenza: evitare intersezioni tra le categorie, che comporterebbero conteggi multipli;
 - o praticità: la lista formulata non dovrà spingersi ad un dettaglio elevato, contemplando un numero eccessivo di categorie;

Per la scelta delle categorie può essere utile consultare il *Working Group on LCIA* della SETAC, all'interno della quale sono proposte e descritte numerose tipologie di impatto, come:

- o estrazione di risorse abiotiche, che comprendono tre differenti tipologie di elementi naturali: depositi (combustibili fossili, minerali), considerati risorse limitate poiché non sono rinnovabili nell'arco di un breve lasso di tempo; risorse (acque sotterranee, sabbia, ghiaia); risorse rinnovabili (acque superficiali, energia solare, vento, correnti oceaniche);
- o estrazione di risorse biotiche, tipologie specifiche di biomassa, raccolte sia in maniera sostenibile, sia in maniera non sostenibile;
- o uso del territorio, che riduce il numero di specie animali e vegetali presenti rispetto alle condizioni naturali;

- o effetto serra, che comporta un aumento della temperatura nella bassa atmosfera conseguenza della presenza di alcuni gas, quali la CO₂, il metano, il biossido di azoto che intrappolano le radiazioni infrarosse;
 - o ecotossicità, relativa agli impatti sulle specie e sugli ecosistemi, provocata da emissioni dirette di sostanze tossiche, come metalli pesanti, idrocarburi, pesticidi e sostanze liberate nel corso della degradazione dei prodotti;
 - o tossicità umana, imputabile alla presenza di sostanze chimiche e biologiche, dipendente dal tipo di esposizione dalla metodologia attraverso la quale avvengono le emissioni delle diverse sostanze nell'ambiente;
 - o acidificazione, causata dal rilascio di protoni negli ecosistemi acquatici e terrestri, principalmente attraverso la pioggia;
 - o arricchimento in nutrienti, causato da un eccesso di nitrati, fosfati, sostanze organiche degradabili e di tutti quegli elementi nutritivi che portano ad un incremento nella produzione di plancton, alghe e piante acquatiche in genere.
- classificazione: è la fase di assegnazione dei dati raccolti nell'inventario ad una o più categorie d'impatto ambientale (*impact categories*), noti gli effetti e i danni potenziali delle emissioni alla salute umana, all'ambiente, all'impoverimento delle risorse e così via. Alla fine di questa fase, all'interno di ciascuna categoria di impatto, saranno contenuti tutti gli input ed output del ciclo di vita che contribuiscono allo sviluppo dei diversi problemi ambientali (la stessa sostanza o materiale potrà quindi essere contenuta all'interno di più categorie di impatto);
 - caratterizzazione: la fase della caratterizzazione si affianca a quella di classificazione ed ha lo scopo di quantificare l'impatto generato. Essa trasforma le sostanze presenti nell'inventario, e precedentemente classificate, in indicatori di carattere numerico, determinando il contributo relativo d'ogni singola sostanza emessa o risorsa usata. L'operazione viene effettuata moltiplicando i pesi delle sostanze emesse o consumate nel processo in esame per i relativi

fattori di caratterizzazione (*weight factors*), propri di ogni categoria di impatto. In sintesi, il fattore di caratterizzazione misura l'intensità dell'effetto della sostanza sul problema ambientale considerato, ed è stabilito da un'Authority sulla base di considerazioni di carattere puramente scientifico. Il risultato della fase di caratterizzazione è il profilo ambientale, costituito da una serie di punteggi d'impatto ambientale relativi a ciascuna categoria, ottenuti sommando tra loro tutti i contributi ottenuti. Solitamente viene rappresentato graficamente attraverso una serie di istogrammi;

- normalizzazione: in questa fase i valori ottenuti dalla caratterizzazione vengono normalizzati, divisi, cioè, per un valore di riferimento rappresentato generalmente da dati medi su scala mondiale, regionale o europea, riferiti ad un determinato intervallo di tempo. Attraverso la normalizzazione si può stabilire quindi la magnitudo, l'entità dell'impatto ambientale del sistema studiato rispetto a quello prodotto nell'area geografica prescelta come riferimento. Secondo le norme ISO questa fase non è obbligatoria per un LCA completo;
- valutazione: l'obiettivo della fase di valutazione è quello di poter esprimere, attraverso un indice ambientale finale, l'impatto ambientale associato al prodotto nell'arco del suo ciclo di vita. I valori degli effetti normalizzati vengono perciò moltiplicati per fattori peso della valutazione, relativi alle varie categorie di danno e spesso riportati in guide tecniche, che esprimono l'importanza intesa come criticità, attribuita a ciascun problema ambientale. Esistono diversi modelli di valutazione:
 - o modelli di tipo comprensivo: includono un elevato numero di parametri differenti, rinunciando ad una elevata precisione e alla quantificazione degli effetti;
 - o modelli di tipo quantitativo: trattano i dati di impatto con grande precisione, limitandosi ad un numero circoscritto di parametri;
 - o modelli di tipo pragmatico: si pongono come intermedi tra gli altri due, definendo con una certa precisione i parametri che consentono una corretta valutazione del prodotto, tenendo comunque conto dei relativi costi e tempi di esecuzione.

Alla base del calcolo di tali fattori, quale che sia il modello seguito, vi è il principio della “distanza dallo scopo” (*distance to target*): essa afferma che quanto più è grande il divario tra lo stato attuale e quello ideale cui si tende, tanto risulta maggiore la gravità di un effetto. Tale giudizio è soggettivo in quanto può variare per aree geografiche, sensibilità e scuole di pensiero differenti. In alcuni casi si utilizzano fattori di peso uguali tra loro: se la generazione di un prodotto, ad esempio, influisce su sei temi ambientali, per ognuno di essi si potrà assumere che il fattore di peso sia pari ad 1/6; in alternativa si assumono come fattori peso quelli forniti da alcune banche dati, come la Uniliver. Sommando i valori degli effetti così ottenuti si ottiene un unico valore adimensionale, l’ecoindicatore, indice ambientale finale, che quantifica l’impatto ambientale associato al prodotto.

La fase di valutazione d’impatto, a differenza della fase di inventario che ha raggiunto un buon grado di standardizzazione, è ancora caratterizzata da aspetti controversi che necessitano di ulteriori approfondimenti scientifici. Un tentativo di rispondere a tali esigenze di standardizzazione è stato realizzato da ANPA nelle “Linee guida per la Dichiarazione Ambientale di Prodotto” (EPD, 2001), in cui sono descritti i requisiti per l’esecuzione di tutte le fasi di una valutazione del ciclo di vita e sono identificate una serie di categorie d’impatto predeterminate, al fine di uniformare i contenuti degli studi di LCA.

1.3.2.5 Analisi dei risultati (UNI EN ISO 14043)

All’interno di questa fase vengono interpretati e rappresentati i risultati delle fasi di inventario e di valutazione degli impatti attraverso un’analisi di sensitività, così da avere una percezione dello studio facilmente fruibile e comprensibile. Ad essa è accompagnata quasi sempre la valutazione dei miglioramenti, la fase dell’LCA nella quale, dopo aver individuato gli ambiti più critici, vengono valutate e selezionate le opzioni e i miglioramenti per ridurre gli impatti e i carichi ambientali dell’unità funzionale in studio. Si possono, in questa sezione, rappresentare anche scenari diversi da quello considerato e confrontare i risultati ottenuti con altri relativi ad una situazione migliore.

Tale fase pur non avendo ancora raggiunto il livello metodologico di quelle precedenti, rimane, tuttavia, un momento importante poiché consente, ove possibile, un miglioramento dell'impatto ambientale.

E' importante rilevare che l'LCA, come tutte le metodologie basate sul confronto, non si propone di individuare soluzioni assolute ma rappresenta un strumento di supporto alle decisioni identificando un insieme di alternative tra le quali poi scegliere.

1.3.3 Analisi critica del metodo LCA

Le tecniche d'indagine basate su LCA presentano, tuttora, problematiche non risolte che ne limitano l'utilizzo e l'efficacia. In particolare i due aspetti che maggiormente incidono sull'adozione di questo strumento riguardano l'assenza di una metodologia coerente, sufficientemente diffusa ed accettata a livello internazionale per la valutazione degli impatti ambientali e la scarsità di dati ed informazioni necessarie per una buona conoscenza dei fenomeni oggetto di studio.

Il primo problema è sempre stato affrontato facendo uso del concetto d'impatto, la cui misura è valutata con l'ausilio d'indicatori che ipotizzano una dipendenza, lineare o non lineare, tra l'entità dell'emissione ed il potenziale effetto negativo sull'ambiente (potenziale di riscaldamento globale, potenziale di acidificazione o altro).

Un approccio alternativo a questa modalità operativa risiede nella costruzione d'indicatori di categorie di danno, definiti per collegare gli effetti negativi su un sistema con realtà più vicine all'esperienza comune e più facilmente analizzabili e valutabili, come la salute umana, la qualità dell'ecosistema, la produttività e l'entità dei raccolti. Così facendo, si ottiene l'effetto di rendere più immediata l'attribuzione dei pesi alle diverse categorie di danno e di rendere maggiormente comprensibile al pubblico gli effetti attribuiti ai processi studiati.

Per ciò che concerne il secondo problema, esso è generalmente legato alla riluttanza dei soggetti economici interessati nel rendere pubblici di dati ambientali relativi alle proprie attività, tanto che queste pratiche rappresentano, spesso, dei fattori positivi di competitività nei confronti dei concorrenti diretti.

Le cause di questa riluttanza possono essere ricondotte innanzitutto alla scarsa confidenza degli operatori interessati nei confronti della metodologia LCA, per timore di costi elevati o per assenza di personale qualificato nella redazione di simili progetti. Un secondo fattore di dissuasione è connesso con la paura di essere oggetto di critiche da parte dell'opinione pubblica o della pubblica amministrazione e, quindi, di vedere degradata l'immagine aziendale. Infine, un terzo motivo di opposizione alla diffusione di simili dati è legato al cosiddetto segreto industriale, che ostacola, però, non solo la pubblicazione di dati ambientali ma diversi tipi di dati sensibili.

Diversi studi, tra cui si cita il "*Theme report: Database and Softwares*" (L. Grisel et Alii, 1999), individuano, tra le soluzioni migliori per attenuare questo stato di cose, la pubblicazione di best practices che dimostrino i benefici di una politica di diffusione delle informazioni ambientali ed il coinvolgimento delle associazioni di industriali nella promozione della produzione e dello scambio di database idonei all'LCA.

1.4 Metodologia di analisi con gli Eco-Indicators 99

1.4.1 Struttura generale

Eco-indicators è una metodologia sviluppata dalla Pré (*Product Ecology Consultants*) per conto del Ministero dell'Ambiente Olandese: essa costituisce un potente strumento per i progettisti utile ad aggregare i risultati di un LCA in grandezze o parametri facilmente comprensibili ed utilizzabili, chiamati appunto Eco-indicatori. I progettisti, infatti, pur non essendo solitamente esperti in materia di ambiente, affrontano decisioni che influenzano fortemente le proprietà di un prodotto e l'impatto che esso avrà sull'ambiente circostante. Principalmente due grandi ostacoli hanno, spesso, impedito l'effettivo utilizzo dell'LCA nella progettazione: l'esecuzione di un LCA richiede tempi troppo lunghi per risultare utile ai progettisti ed i risultati ottenuti sono generalmente troppo difficili da interpretare. La metodologia degli *Eco-indicators* risolve questi problemi grazie all'aggregazione dei risultati dei danni in tre sole categorie principali ed al calcolo di valori standard per i materiali ed i processi più frequentemente considerati.

La versione utilizzata nell'ambito del presente studio è la più recente in ordine di tempo, quella del 1999, e risulta migliore della precedente poiché comprende diversi aspetti altrimenti ignorati, adottando un sistema di calcolo estremamente più articolato.

Gli *Eco-indicators 99* presentano, infatti, i seguenti miglioramenti rispetto alla versione del 1995:

- migliore definizione delle categorie di danno;
- possibilità di valutare l'esaurimento delle risorse;
- inclusione dello sfruttamento del territorio come categoria d'impatto;
- migliore definizione degli effetti dei danni e introduzione dell'analisi di previsione (*fate analysis*).

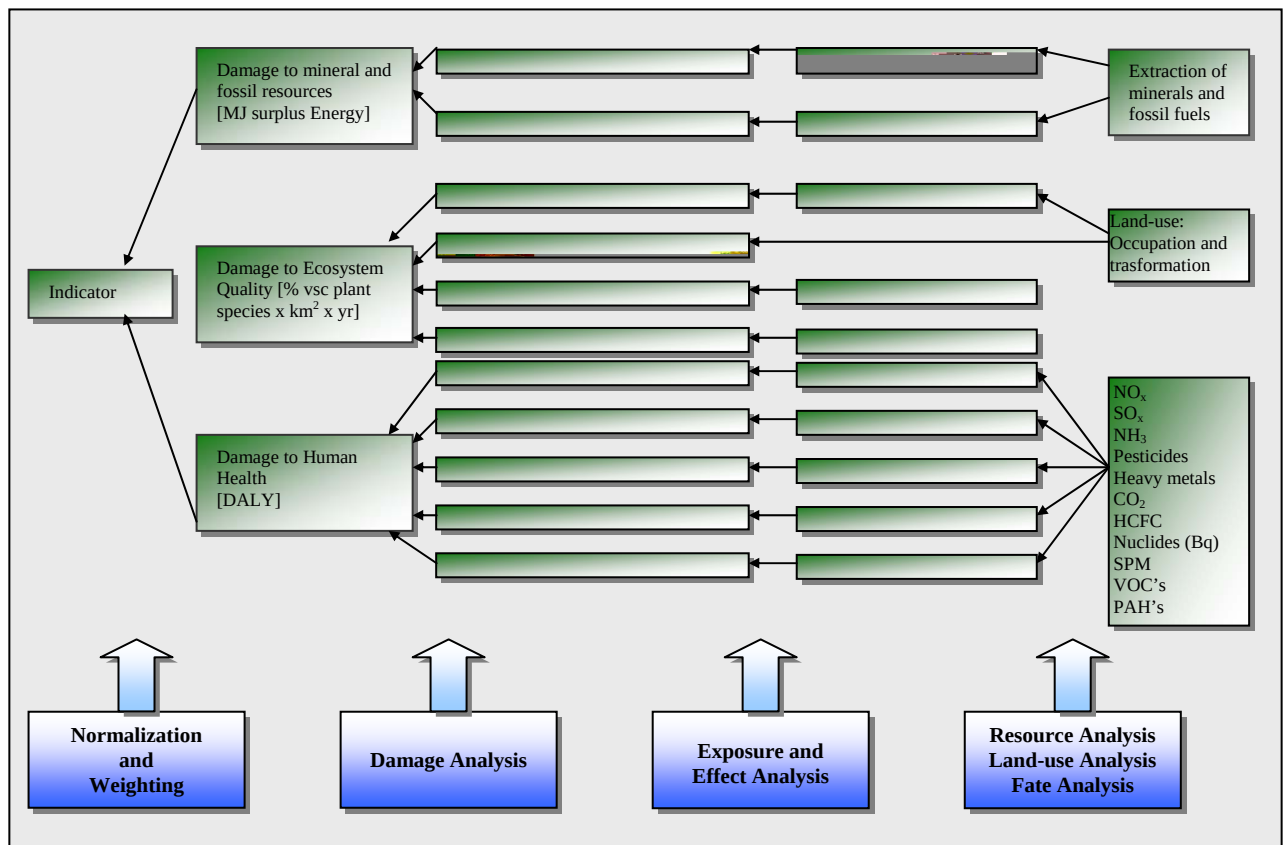
Nel procedere al miglioramento della metodologia del 1995, è stato ritenuto importante partire dalla fase più critica e maggiormente controversa dello studio, quella finale. E' proprio in questa fase, infatti, che vengono attribuiti differenti pesi alle molteplici categorie di danno, le quali sono perciò individuate in un numero sufficientemente ristretto e riguardano aspetti concreti e facilmente comprensibili.

Lo schema principale del metodo valuterà quindi esclusivamente tre tipi di danno ambientale:

- Human Health (Salute Umana)
- Ecosystem Quality (Qualità dell'ecosistema)
- Resources (Sfruttamento delle Risorse)

Sono poi stati sviluppati alcuni modelli al fine di correlare tali categorie di danno alle sostanze individuate nello studio del ciclo di vita. Questo perché, al fine di determinare l'interazione fra un prodotto e l'ambiente circostante, sia necessario comprendere tutti gli aspetti coinvolti durante il ciclo di vita del prodotto stesso.

Figura 2 - Rappresentazione generale della metodologia



(In azzurro si indicano le procedure, in verde i risultati intermedi)

L'analisi del ciclo di vita richiede, in primo luogo, un inventario di tutte le emissioni e di tutti i consumi di risorse da attribuire al prodotto nel suo intero ciclo di vita; il risultato di questo inventario è un elenco di emissioni, consumi di risorse e di impatti di altro tipo che, opportunamente organizzato, prende il nome di inventory result. Per rendere la procedura più comprensibile e facilmente interpretabile, data la grande quantità di dati, è pratica comune raggruppare i tipi di impatto per categorie e calcolarne un punteggio globale, riferendosi così alle categorie di impatto invece che alle differenti tipologie di impatto riscontrati.

Nello sviluppare i progetti *Eco-indicators 95* e *99*, è stato utilizzato un approccio top-down attraverso il quale sono stati, inizialmente, definiti i risultati richiesti dalla valutazione, nel caso specifico le tre categorie di danno precedentemente definite. Ciò ha implicato la necessità di una definizione chiara ed univoca del termine "ambiente" e dell'approccio con cui affrontare e valutare i diversi problemi ambientali.

Quando si applicano gli *Eco-indicators 99* ad un LCA è necessario considerare che tutte le emissioni e tutte le forme di sfruttamento del territorio sono valutate con riferimento all'Europa, con le seguenti eccezioni e restrizioni:

- il danno della riduzione dello strato di ozono e l'effetto serra sono valutati su scala globale;
- il danno dovuto ad alcune sostanze radioattive è valutato su scala globale;
- il danno dovuto all'esaurimento delle risorse è valutato su scala globale;
- il danno dovuto ad alcune persistenti sostanze cancerogene è definito considerando anche le regioni geografiche contigue all'Europa.

I risultati ottenuti devono essere inoltre considerati come marginali, nel senso che riflettono l'incremento del danno che si aggiunge ad un livello di danno corrente già presente.

1.4.2 Campi di indagine

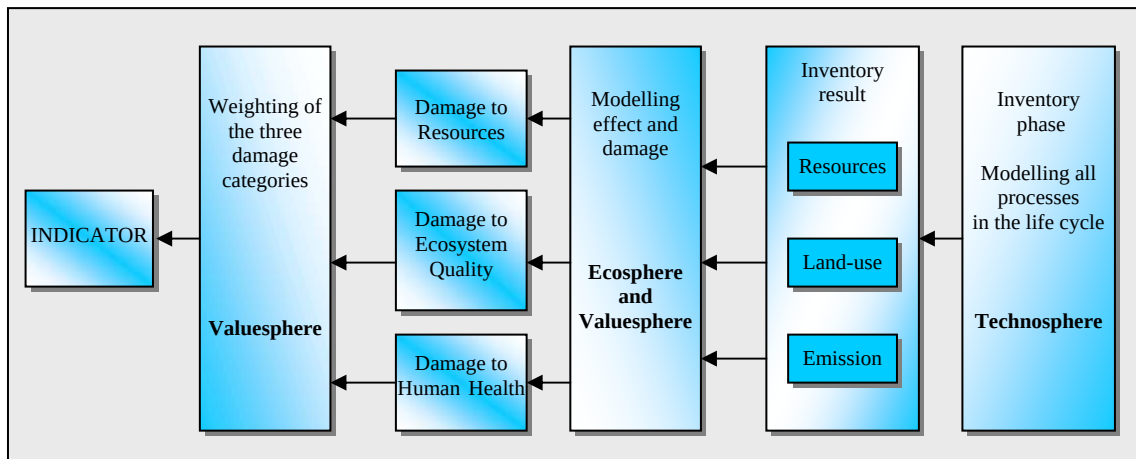
L'LCA si sviluppa attraverso tre campi della conoscenza umana, definiti come "spheres":

- Technosphere, che riguarda la descrizione del ciclo di vita, le emissioni derivanti dai processi, tutte le procedure basate su relazioni di causa-effetto;
- Ecosphere, che comprende la modellazione dei cambiamenti (danni) all'ambiente;
- Valuesphere, che contempla la valutazione sulla gravità dei danni arrecati.

Le prime due "sfere" si basano su conoscenze scientifiche e naturali. Per le valutazioni relative alla "Technosphere" le percentuali di incertezza sono relativamente basse mentre per la "Ecosphere" si usano modelli piuttosto incerti, difficilmente verificabili e dati con unità di misura aventi errori di diversi ordini di grandezza. La "Valuesphere" appartiene invece alla sfera delle scienze sociali.

Comprendere il legame che esiste fra queste tre "sfere" è fondamentale per comprendere la metodologia degli *Eco-indicators 99*: il ciclo di vita, infatti, viene costruito nell'ambito della "Technosphere" e il suo risultato è l'inventario. Il legame tra i dati presenti nell'inventario e le tre categorie di danno o "endpoints" avviene attraverso il modello realizzato nella "Ecosphere". Il modello della "Valuesphere" viene utilizzato per pesare le tre categorie di danno secondo un unico indicatore.

Figura 3 - Il concetto centrale della metodologia Eco-indicators 99



Il campo d'indagine è l'ambiente in senso ampio, considerato come un sistema il cui stato è definito da un insieme di parametri fisici, chimici e biologici influenzati dall'uomo, legati a loro volta a condizioni per la sopravvivenza dell'uomo stesso e della natura. Queste condizioni includono la salute umana, la qualità dell'ecosistema e il reperimento di risorse: il concetto di salute umana (*Human Health*) comprende l'idea che tutti gli esseri umani, nel presente o nel futuro, saranno privi di malattie, invalidità o morte prematura causata dall'ambiente circostante. La presenza di una buona qualità dell'ecosistema (*Ecosystem Quality*) implica che le comunità animali e vegetali interessate non subiscano cambiamenti indotti che alterino la loro popolazione e distribuzione geografica. La categoria reperimento di risorse (*Resources*) considera il concetto che la scorta di sostanze essenziali per lo sviluppo della nostra società possa essere o meno disponibile anche per le generazioni future.

1.4.3 Le fonti di incertezza

Nello sviluppo di una metodologia scientifica si incontrano diverse categorie di incertezza: le due tipologie fondamentali sono la *Fundamental uncertainty* e la *Operational uncertainty* cui, nel caso in esame, si aggiunge la *Uncertainty of completeness*.

Nel dettaglio avremo:

- *Operational Uncertainty*, dipendente dall'incertezza insita nella natura dei dati e dei parametri tecnici. Tali incertezze sono relativamente semplici da considerare

aggiungendo informazioni sulla distribuzione di probabilità propria dei valori in esame;

- Fundamental Uncertainty, riguardante l'incertezza sull'esattezza del metodo ed è legata al fatto che certe scelte sono inevitabilmente guidate da visioni soggettive, etiche e morali della realtà. Tale tipo di incertezza non può essere evidenziato tramite l'aggiunta di dati statistici quali, ad esempio, una deviazione standard;
- Uncertainty of completeness, legata all'incompletezza del metodo poiché, per quanto accurato, non potrà mai comprendere tutti gli aspetti ed i meccanismi considerati rilevanti ai fini dello studio in quanto ve ne saranno sempre alcuni per i quali non sarà possibile un'adeguata descrizione con gli strumenti a disposizione o per i quali non si avranno dati sufficientemente attendibili. Non è possibile ovviare a questo inconveniente ed è importante specificare aspetti ritenuti importanti ma non ancora inclusi e le motivazioni che hanno condotto a tale scelta.

1.4.3.1 L'incertezza sui dati

Negli *Eco-indicators 99*, gli ideatori hanno ritenuto opportuno fornire stime accurate sull'incertezza dei dati quando ciò fosse rilevante ai fini del risultato. Sono, perciò, forniti i valori dello scarto quadratico medio (σ_g^2), assumendo una funzione di distribuzione di probabilità log-normale.

Il valore dello scarto quadratico medio esprime la variazione tra il valore medio e i limiti minimo e massimo corrispondenti al livello di confidenza prescelto:

- limite minimo per un livello di confidenza del 95 % = valore medio / σ_g^2
- limite massimo per un livello di confidenza del 95 % = valore medio * σ_g^2

1.4.3.2 L'incertezza sull'esattezza del metodo

Nel corso dello sviluppo della metodologia sono stati affrontati diversi problemi, come ad esempio:

- cosa includere o escludere dal modello;
- che livello di accuratezza scientifica richiedere per accettare una teoria o un'ipotesi;
- che tipo di schematizzazione temporale adottare;

- se i problemi di salute di giovani e anziani fossero da considerare a pari gravità;
- se i danni futuri dovessero essere considerati ugualmente seri rispetto a quelli più immediati;
- se i danni evitabili attraverso una buona gestione dovessero essere trascurati.

Le basi su cui affrontare queste decisioni sono chiaramente soggettive e ciò può creare problemi soprattutto quando tali scelte comportino effetti significativi sui risultati finali.

Gli ideatori hanno, pertanto, dovuto sostenere scelte soggettive ed hanno ricercato una soluzione in grado di gestire questa soggettività in ciascun passo del modello, in base al concetto di “*Cultural Theory*”², proposto da Thompson nel 1990.

La teoria considera i comportamenti delle persone rispetto a due dimensioni fondamentali dell’esistenza umana: l’attaccamento al gruppo ed il grado di indipendenza nei confronti di imposizioni e prescrizioni esterne, la cosiddetta grid. Differenti combinazioni di valori delle due dimensioni considerate identificano una delle cinque way of life, o sistema di valori, la quale influirà sulle scelte del singolo ciascun individuo e del gruppo cui appartiene.

L’esperienza dimostra come questa distinzione sia sufficientemente valida per valutare i comportamenti delle persone. È importante sottolineare, tuttavia, come tale teoria non implichi l’attribuzione di una categoria univoca a ciascun individuo, in conseguenza dell’elevata varietà della personalità umana: ciascuno può appartenere a più categorie, reagendo alle diverse situazioni in maniera differente in funzione del contesto.

Sono descritte di seguito, in maniera sintetica, le caratteristiche distintive dei cinque archetipi:

- *Individualist*: è una persona libera da qualsiasi legame. Nella sua visione, tutto è provvisorio e soggetto a negoziazione;
- *Egalitarian*: possiede un forte attaccamento al gruppo ma non alle sue imposizioni. Non riconoscendo differenze di ruolo, rende ambigue le relazioni all’interno del gruppo scatenando spesso conflitti;

² Thompson M., Ellis R., Widavsky A., “*Cultural Theory*”, Westview Print Boulder, 1990.

- Hierarchist: è un soggetto che

Tabella 1 - La visione del mondo nelle tre prospettive culturali

	EGALITARIAN	INDIVIDUALIST	HIERARCHIST
Criterio guida	Argomentazioni	Esperienza	Evidenza
Stile nelle scelte	Prevenzione	Adattamento	Controllo
Distribuzione delle risorse	Paritaria	Prioritaria	Proporzionale
Percezione del tempo	Lungo periodo	Breve periodo	Bilanciamento lungo-breve periodo
Responsabilità verso le generazioni future	Presente < Futuro	Presente > Futuro	Presente = futuro
Visione delle risorse	Verso esaurimento	Abbondanti	Scarse
Percezione del rapporto fabbisogno-risorse	Gestione del fabbisogno ma non delle risorse	Gestione delle risorse e del fabbisogno	Gestione delle risorse ma non del fabbisogno
Atteggiamento verso la natura	Attenzione	Laissez-faire	Regolamentazione
Atteggiamento verso l'uomo	Costruzione di una società egalitaria	Channel rather change	Restrizione del comportamento
Percezione del rischio	Avversione al rischio	Ricerca del rischio	Accettazione del rischio

La classificazione e la valutazione delle tre categorie hanno forti implicazioni sulla metodologia; l'effetto più marcato è che non si ha più un unico modello ma tre distinte versioni dello stesso modello.

Nella versione individualista vengono valutate esclusivamente le relazioni di causa-effetto che dispongano di prove della loro validità e viene utilizzata, quando possibile, una prospettiva di breve termine. La preferenza accordata alle situazioni sperimentate rispecchia l'atteggiamento dell'individualista di considerare discutibile tutto ciò che non gli trasmette certezza, così come il fatto che non possa essere provato che gli effetti a lungo termine potranno essere annullati dal progresso della scienza e della società. Per quanto riguarda la salute umana, nella percezione individualista, questa è valutata più importante nei più giovani rispetto agli anziani.

La prospettiva gerarchica comprende meccanismi sostenuti con sufficiente riconoscimento dalla comunità scientifica e politica; l'atteggiamento gerarchico è, infatti, piuttosto comune all'interno di questi gruppi.

Nella versione egualitaria è adottato il principio di precauzione, cercando di non tralasciare alcun aspetto, includendo anche ciò che non è completamente provato allo scopo di meglio riflettere l'opinione di chi non accetta la guida della comunità scientifica e delle organizzazioni politiche; utilizza, inoltre, una prospettiva di lungo. Questa versione del modello è la più comprensiva ma anche la più soggetta ad incertezze ed errori.

Come conseguenza di ciò non si avrà un solo valore in uscita ma tre differenti valori dipendenti dalla prospettiva prescelta. Questo potrebbe sembrare un ostacolo per l'utilizzatore del modello ma in realtà riflette il fatto che il giudizio su problemi ambientali non possa essere oggettivo.

Presentando tre diverse prospettive, l'utente del modello è libero di scegliere quella che ritiene più adeguata allo scopo; potrebbe, eventualmente, essere calcolata la media dei tre diversi valori ottenuti, eventualmente ponderata considerando la distribuzione della popolazione europea nei confronti delle tre diverse prospettive. È necessario, tuttavia, considerare che la media dei valori, in questo caso, ha un significato limitato poiché rappresenta la media di tre visioni completamente differenti.

I progettisti del modello raccomandano di usare la versione gerarchica come default; è, infatti, quella che trova un maggiore accordo con tutti gli altri modelli. Le altre due prospettive possono essere usate per conferire più forza e sensibilità all'analisi.

Informazioni a riguardo della prospettiva adottata costituiscono esse stesse una informazione molto importante ai fini dello studio.

1.4.4 Inventario

Il metodo utilizza quattro differenti procedure per collegare l'inventario alle tre categorie di danno principali; tali connessioni consentono di individuare e pesare all'interno di una singola categoria il tipo di danno relativo alla sostanza emessa o

alla risorsa usata. Vengono in questo modo determinati dei fattori specifici da moltiplicare per il peso della sostanza emessa o consumata.

Per la categoria Human Health vengono eseguite le seguenti analisi:

- *fate analysis*, che lega la sostanza emessa alla variazione della sua concentrazione nel tempo;
- *exposure analysis*, che lega questa variazione di concentrazione ad una dose;
- *effect analysis*, che lega la dose di emissione agli effetti sulla salute;
- *damage analysis*, che lega gli effetti sulla salute al numero di anni vissuti dall'uomo come ammalato (YLD) e al numero di anni di vita persi (YLL).

Per la categoria Ecosystem Quality vengono considerati due tipi di impatto: le emissioni tossiche (*ecotoxicity*) e quelle che modificano l'acidità e i livelli di nutrienti nell'ecosistema (*acidification and eutrophication*). Per tali categorie di impatto è stata seguita la seguente procedura di analisi:

- *fate analysis*, che lega le emissioni alle concentrazioni;
- *effect analysis*, che lega le concentrazioni alla tossicità, ai livelli di acidità o a all'aumento delle sostanze nutritive disponibili;
- *damage analysis*, che collega questi effetti all'incremento potenziale della scomparsa di piante.

Inoltre, considera l'uso e la trasformazione del territorio (*land use*) sulla base di dati empirici relativi alla qualità degli ecosistemi in funzione del tipo di uso del territorio e del valore della sua area.

Per la categoria Resources vengono seguite due fasi:

- *resource analysis*, che lega l'estrazione di una risorsa alla riduzione della sua concentrazione.
- *damage analysis*, che lega la minore concentrazione di risorse all'aumento dell'energia spesa per la loro estrazione in futuro.

1.4.5 Categorie di danno

1.4.5.1 Human Health

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO) ha dichiarato che la salute “[...] non è semplicemente assenza di malattie o infermità ma riflette uno stato di completo

benessere fisico, mentale e sociale [...]”; afferma, inoltre, che “[...] la salute ambientale degli uomini include sia gli effetti patologici delle sostanze chimiche, della radioattività e di alcuni agenti biologici, sia gli effetti, spesso indiretti, dell’ambiente fisico, psicologico, sociale ed estetico comprendendo il problema degli alloggi, lo sviluppo urbano, l’uso del territorio ed i trasporti [...]”.

Nella metodologia *Eco-Indicators 99* vengono considerati solamente alcuni aspetti di un problema assai più complesso ed in particolare:

- si considereranno esclusivamente le emissioni antropogeniche in atmosfera, idrosfera e geosfera, escludendo le condizioni nei posti di lavoro e negli alloggi, gli incidenti stradali, i danni causati dall’abuso di alcol e del fumo o altro;
- non si considereranno tutti i problemi di salute causati da disastri naturali, eruzioni vulcaniche, microrganismi;
- non si considereranno gli aspetti economici legati al benessere umano come ad esempio il reddito pro-capite.

Ne consegue che la definizione di Human Health contemplata nell’LCA è molto più restrittiva di quella considerata dal WHO: per salute umana si intende in questo contesto l’assenza di morti premature, malattie o irritazioni causate da emissioni derivanti da processi agricoli o industriali nell’aria, nell’acqua e nel suolo.

Il concetto di DALY

Per quantificare il danno arrecato alla salute umana è necessario sfruttare una scala che sia capace di misurare la salute della popolazione. Essa dovrà comprendere il numero di individui interessati dal problema, il tempo sottratto a ciascun individuo da infermità o morte prematura e la gravità della malattia.

A livello internazionale, un indicatore di questo tipo, in grado di stimare il carico totale da attribuire a ciascun problema di salute, è stato sviluppato nel “*Global Burden of Disease Study*” da Murray in collaborazione con la Banca Mondiale e l’Organizzazione Mondiale della Sanità.

Questo indicatore esprime il numero di *Disability-Adjusted Life Years* (DALYs), ossia misura il peso di una infermità dovuta ad una invalidità o a una morte prematura attribuibili a ciascuna malattia. Il concetto di DALY distingue anche gli anni

trascorsi da ammalato (YLD: *Years Lived Disabled*) da quelli persi per morte prematura (YLL: *Years of Life Lost*).

Il considerare gli anni persi per morte prematura implica la definizione di una vita media per ciascun individuo e, poiché essa esprime la situazione ideale, il riferimento utilizzato è stata la più alta aspettativa di vita osservata nel mondo: quella delle donne giapponesi che raggiunge gli 82 anni.

Sono stabiliti, inoltre, valori che rappresentino il grado di infermità o sofferenza associato a ciascun disturbo (*disability rating*), essenziali per il confronto tra le diverse malattie. In base a tali valori si è istituita una gerarchia di sette classi di infermità a ciascuna delle quali, tramite l'opinione di esperti, è associato un peso che va da 0 (salute perfetta) a 1 (morte). Per calcolare il danno che deriva dalla ciascuna malattia, cioè per caso di incidenza, i DALY vengono in questo modo determinati come prodotto tra il rating di quella malattia (coefficiente di infermità) e gli anni di vita persi a causa della stessa, ottenuti da studi statistici.

Nello sviluppare la metodologia non è stata valutata la differenza fra danni immediati e danni futuri; è stato inserito, però, un peso per tenere conto del fatto che la salute umana assume una diversa importanza a seconda dell'età dell'individuo.

1.4.5.2 Ecosystem Quality

Data la natura estremamente eterogenea di un ecosistema, un metodo per descriverne la qualità è quello di considerare i flussi di massa e di informazioni che lo attraversano. Nella stesura della metodologia di valutazione si è deciso di considerare esclusivamente la trasmissione di informazioni a livello di specie: ciò significa che si è assunta la diversità delle specie come un valore adeguato alla rappresentazione della qualità dell'ecosistema.

La diversità delle specie in questo contesto non comprende, tuttavia, il concetto di estinzione, poiché questo danno, pur essendo fondamentale, è estremamente difficile da modellare, essendo il risultato di un numero molto elevato di fattori differenti.

Ciò che si assume è quindi che il ciclo di un singolo prodotto induca uno stress temporaneo sull'ecosistema, il quale potrebbe essere uno dei fattori che potranno, in futuro, condurre all'estinzione della specie.

Per rappresentare l'effetto si utilizzano due differenti espressioni:

- Potentially Affected Fraction (PAF): è un parametro utilizzato per valutare il danno arrecato da sostanze tossiche all'ecosistema. Si applica per lo più ad organismi molto semplici, sia acquatici sia terrestri, come pesci, crostacei, alghe, vermi, nematodi, microrganismi ed a numerose specie di piante. Può essere interpretato come la frazione percentuale di specie che è esposta ad una concentrazione equivalente o superiore al NOEC (*No Observed Effect Concentration*). È una misura dello stress non ancora realmente diventato un danno.
- Potentially Disappeared Fraction (PDF): viene utilizzato per la valutazione dell'effetto di acidificazione, eutrofizzazione e uso del territorio sulla popolazione di piante vascolari in una certa area. Può essere interpretato come la frazione percentuale di specie che hanno una alta probabilità di non sopravvivere nell'area considerata, a causa di sfavorevoli condizioni di vita.

Specularmente può essere definita la POO (*Probability of Tc*)

- nella prima parte della valutazione è modellato il decremento della disponibilità della risorsa a causa dell'estrazione di materiale grezzo;
- nella seconda le disponibilità decrescenti sono collegate al concetto di “*surplus energy*”.

Poiché con il termine risorse si è soliti indicare componenti spesso eterogenee, da quelle minerali alle rinnovabili, dagli inerti ai prodotti naturali, ne risulta che esso si sovrappone parzialmente all'area di influenza delle altre categorie di danno: nel modello, sotto la categoria “*Resources*”, sono considerate esclusivamente le risorse minerali e i combustibili fossili.

Il metodo proposto pone in relazione la qualità di una risorsa estratta con l'energia, necessaria per la sua estrazione. In virtù delle regole di mercato, la tendenza è quella di estrarre innanzitutto le risorse di migliore qualità. Ciò implica che, per ogni kg di risorsa estratta, decresce la qualità delle risorse rimanenti e, di conseguenza, aumenta l'energia necessaria alle successive estrazioni.

Il decremento della qualità di una risorsa ed il corrispettivo incremento dello sforzo futuro necessario all'estrazione sono i parametri utilizzati per la valutazione del danno alle risorse.

Il modello presenta alcuni punti deboli:

- modelli geologici dimostrano che la diminuzione della qualità delle risorse è graduale e non discontinua;
- tutti i minerali vengono considerati parimenti importanti per l'umanità;
- non viene presa in considerazione la possibilità di surrogazione di un minerale con un altro;

ma anche alcune vantaggi fondamentali:

- il modello non dipende direttamente dalle stime di consumi annuali, fortemente influenzate da riciclo, sostituzione, o da fattori di congiuntura economica;
- l'incremento atteso nello sforzo di estrazione di una risorsa sembra essere un concetto che riesce a riflettere le reali preoccupazioni dell'umanità.

1.4.6 La stima del danno

Il calcolo del punteggio totale per le tre categorie di danno conclude la struttura del modello di valutazione.

Per ottenere la stima del danno sono ancora necessarie due fasi: la normalizzazione, che rende le diverse categorie di danno confrontabili fra di loro, e la valutazione, che attribuisce ai valori ottenuti dalla fase precedente i pesi relativi alla prospettiva prescelta.

1.4.6.1 La Normalizzazione

Per la valutazione del danno è necessario confrontare fra di loro i valori ottenuti per le tre categorie. Poiché essi sono caratterizzati da tre differenti unità di misura (DALY, PDF, MJ Surplus), si rende necessaria la fase di normalizzazione, nella quale i risultati ottenuti sono rapportati ad un valore di riferimento.

Il sistema di riferimento può essere scelto in molti modi differenti, ma, solitamente, rappresenta la somma di tutte le emissioni e le estrazioni di risorse riferita ad un certo territorio in un dato periodo di tempo (di norma un anno). Se lo si desidera, tale valore può anche essere diviso per il numero di abitanti residenti nella regione considerata.

Le categorie Human Health e Ecosystem Quality

Per la determinazione dei fattori peso della normalizzazione per le categorie Human Health e Ecosystem Quality il metodo degli *Eco-indicators 99* segue la seguente procedura:

- esegue l'LCA calcolando il danno dovuto alle emissioni, alle radiazioni e all'uso del territorio riferendosi a tutta l'Europa nel periodo di un anno;
- calcola, per ogni categoria di impatto, la somma dei danni relativi ai quattro compartimenti di emissione considerati (aria, acqua, suolo ad uso industriale ed agricolo);
- valuta, per ogni categoria di danno, il danno totale, inteso come somma dei danni di ciascuna delle categorie di impatto;

- divide il valore totale di ciascuna categoria di danno per il numero degli abitanti dell'Europa (380 milioni), ottenendo il danno medio subito dal cittadino europeo in un anno;
- assume l'inverso di tale valore come il fattore peso della normalizzazione delle categorie di impatto afferenti la categoria di danno considerata.

La categoria Resources

Per la determinazione dei fattori peso della normalizzazione per la categoria *Resources* il metodo degli *Eco-indicator 99* procede, suddividendo le categorie di impatto, secondo il seguente schema:

- minerali
 - o considera i dati di consumo dei minerali negli USA;
 - o divide tale valore per il numero degli abitanti USA (266 milioni) e lo moltiplica per il numero di abitanti dell'Europa;
 - o calcola il surplus di energia necessario per estrarre 1 kg di ciascun minerale nel momento in cui la quantità estratta sarà cinque volte quella estratta fino al 1990;
 - o moltiplica il surplus unitario per il consumo dei minerali del cittadino europeo.
- combustibili fossili
 - o considera i dati di consumo dei combustibili fossili in Europa;
 - o divide tale valore per il numero degli abitanti dell'Europa;
 - o calcola il surplus di energia necessario per estrarre 1 kg di ciascun combustibile fossile nel momento in cui la quantità estratta sarà cinque volte quella estratta fino al 1990;
 - o moltiplica il surplus unitario per il consumo dei combustibili del cittadino europeo.

Al fine di calcolare un valore di normalizzazione unitario per la categoria Resources si effettuano le seguenti operazioni:

- si sommano i surplus di energia per cittadino medio europeo relativi all'estrazione dei minerali e dei combustibili fossili;

- si assume l'inverso di tale valore come il fattore peso per la normalizzazione relativo ad entrambe le categorie di impatto afferenti a *Resources*.

1.4.6.2 La Valutazione

Per risolvere il problema del livello di scientificità richiesto dallo studio del LCA e quindi del livello di soggettività ammesso, il metodo degli *Eco-indicator 99*, come già visto (cfr. § 1.4.3.2), segue il modello della *Cultural Theory* proposto da Thompson.

Per la stima dei parametri di valutazione è stato costituito un campione di individui, rappresentativo delle diverse prospettive culturali, al quale sottoporre un questionario. Tale procedura non risulta statisticamente corretta a causa della scarsa dimensione del gruppo ma l'approssimazione ottenuta risulta accettabile ai fini dello studio. La Tabella 2 riporta, in percentuale, i fattori peso attribuiti nella fase di valutazione alle tre categorie di danno secondo le tre diverse prospettive culturali.

Tabella 2 - Contributi in peso delle categorie di danno nelle tre diverse prospettive culturali

PROSPETTIVA	Salute umana	Qualità dell'ecosistema	Risorse
Gerarchica	40%	40%	20%
Ugualitaria	30%	50%	20%
Individualista	55%	25%	20%

Si possono inoltre calcolare i contributi percentuali delle diverse categorie di impatto relative alle tre categorie di danno nelle tre differenti prospettive culturali (rispettivamente gerarchica, ugualitaria ed individualista). Tali contributi tengono conto, per ogni categoria di impatto, dei diversi pesi attribuiti alle emissioni e alle risorse nelle fasi di normalizzazione e valutazione.

Figura 5 - Il contributo al danno delle diverse categorie di impatto nella prospettiva gerarchica (HH = 40%, EQ = 40%, R = 20%)

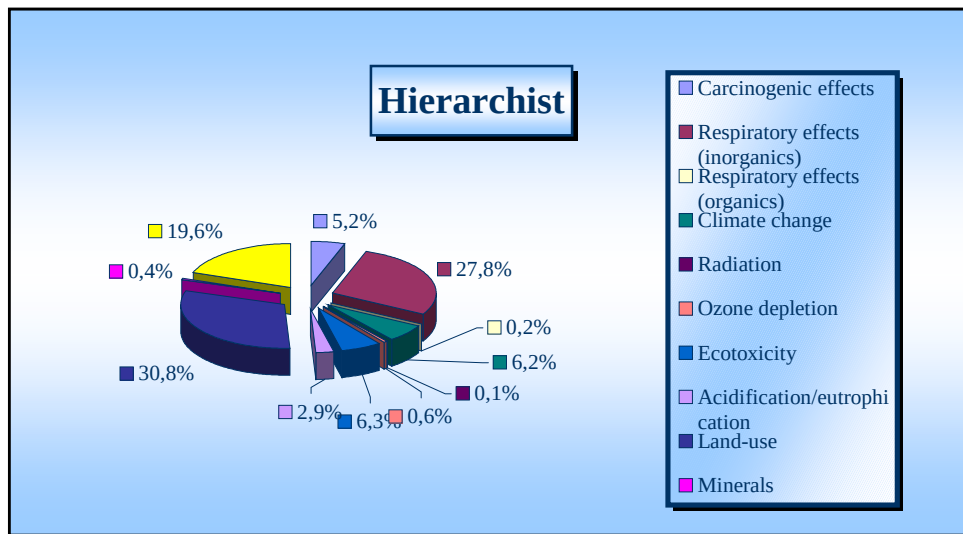


Figura 6 - Il contributo al danno delle diverse categorie di impatto nella prospettiva ugualitaria (HH = 30%, EQ = 50%, R = 20%)

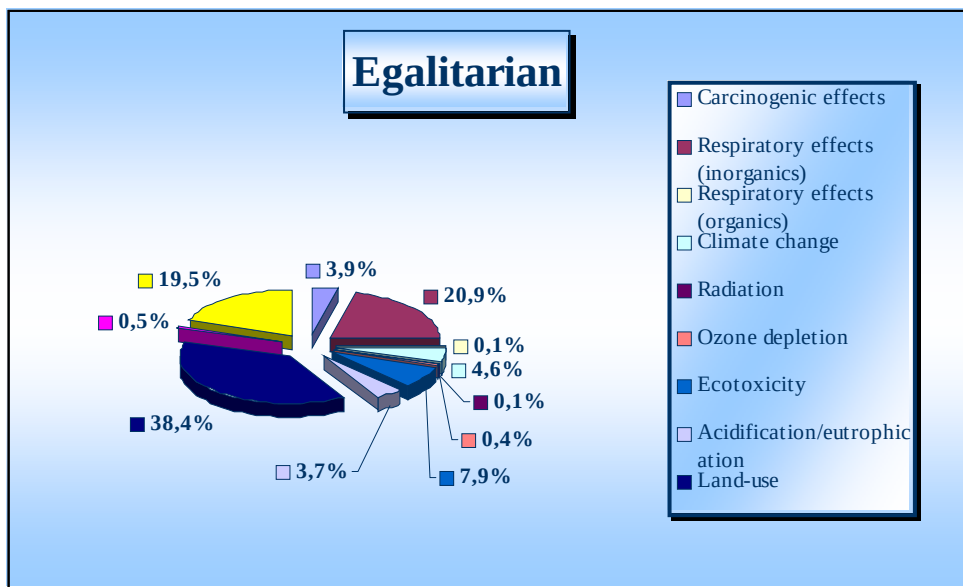
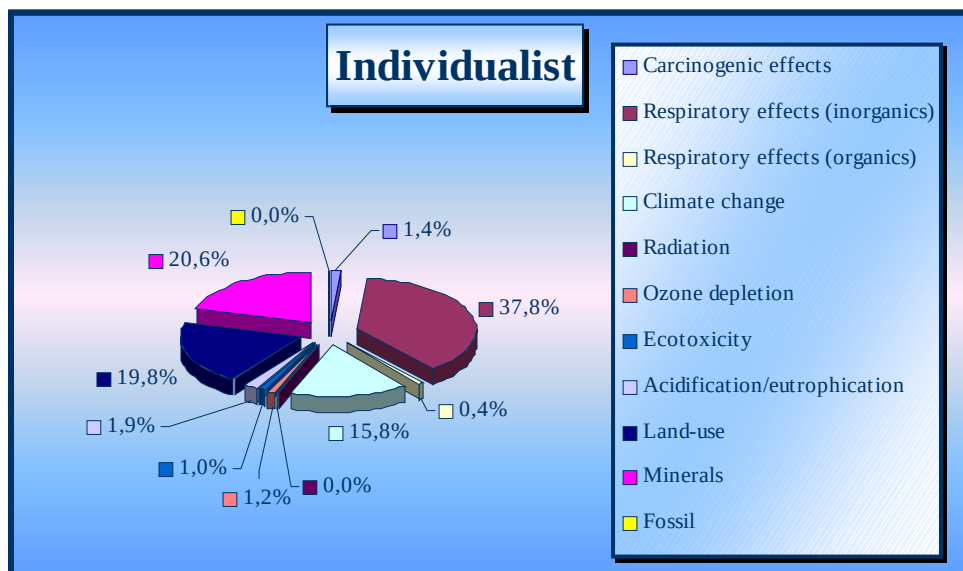


Figura 7 - Il contributo al danno delle diverse categorie di impatto nella prospettiva individualista (HH = 55%, EQ = 25%, R = 20%)



Dall'osservazione dei grafici precedenti si possono dedurre le seguenti conclusioni:

- nella prospettiva gerarchica *land-use*, *climate change* e *fossil fuel* sono le categorie di impatto più importanti;
- specialmente nella prospettiva ugualitaria, si nota l'elevata importanza del *land-use*, rispetto ad *acidification/eutrophication* ed *ecotoxicity*
- nella prospettiva individualista è dominante la voce *respiratory effects (inorganics)*; il danno *carcinogenic* risulta di minore importanza (sono considerate solamente le sostanze con accertato effetto cancerogeno);
- nella prospettiva individualista, *fossil fuel* non è tenuto in considerazione, di conseguenza assume una importanza relativa maggiore *minerals*.

1.4.7 Modifiche agli Eco-Indicators 99

1.4.7.1 La prospettiva ugualitaria

La valutazione dell'impatto ambientale viene realizzata utilizzando il metodo *Eco-Indicators 99 E/CWMD*. Esso è stato ricavato dal metodo degli *Eco-Indicators 99 E*, modificandolo per tenere conto dei costi (C), del consumo di acqua (W), dei morti (M) e dei feriti (D) dovuti ad incidenti.

La scelta della prospettiva ugualitaria è stata fatta in considerazione del fatto che nell'analisi del ciclo di vita sia necessario utilizzare il criterio precauzionale. Poiché

di molte sostanze non si conosce con certezza l'effetto sull'uomo e sull'ambiente è necessario impiegare la prospettiva che meglio consente di cautelare la salute dell'uomo e dell'ambiente, considerando nocive anche sostanze cui si attribuiscono solo ipotetici effetti dannosi.

La stessa prospettiva consente, inoltre, di realizzare un approccio di lungo periodo, il cui scopo è tenere nella debita considerazione le conseguenze attuali e future delle attività odierne.

1.4.7.2 Modifica del metodo *Eco-Indicators 99* per tenere conto dei costi

Il metodo degli *Eco-Indicators 99*, nel calcolo della normalizzazione, divide il valore della caratterizzazione per il danno subito dal cittadino medio europeo durante 1 anno di vita. Nel nostro caso la caratterizzazione è relativa a 1 giorno di vita dei mezzi di trasporto. Occorre, inoltre, sottolineare che il metodo degli *Eco-Indicators 99* è stato modificato al fine di inserire due diverse voci di costo.

Sono state definite la categoria di danno costo individuale (il costo che viene attribuito ad una singola persona) e costo sociale (il costo che viene attribuito alla collettività) con unità di misura l'euro (€).

Per la caratterizzazione è stata definita la *substance* costo in euro della category non material, attribuendole come unità di misura l'*amount p*, che nel presente studio corrisponde ad 1 €, ed un fattore peso 1.

Per la normalizzazione si è assunto che il cittadino medio europeo percepisca in 1 anno lo stipendio medio di 15.493,71 €. Perciò il fattore peso vale:

$$(15.493,71 \text{ €})^{-1} = 6,4543 \times 10^{-5} \text{ €}^{-1}$$

Per la valutazione si è assunto il valore 0, in quanto si ritiene che non sia possibile attribuire agli aspetti monetari una rilevanza etica che, relativamente alle altre tre categorie considerate, è individuata dalla percentuale che rappresenta il contributo al danno totale. In questo modo, i danni economici sono calcolati dal modello nella loro entità ma non si attribuisce loro una valenza di tipo culturale.

1.4.7.3 Modifica del metodo *Eco-Indicators 99* per tenere conto del consumo di acqua

Per tenere conto del consumo di acqua sono state fatte le seguenti ipotesi: il consumo di acqua nel 1990 era tale che la sua estrazione dalle falde acquifere avveniva ad una profondità di 100 m. Quando il consumo di acqua sarà 5 volte quello del 1990, per la sua estrazione dalle falde acquifere sarà necessario l'uso di un surplus di energia dovuta al fatto che l'estrazione avverrà ad una profondità di 200 m.

A tale scopo, per estrarre 1 litro di acqua dalla falda sotterranea, sarà necessario un surplus di energia pari a $2,065 \times 10^{-3}$ MJ. Tale valore costituisce anche il fattore di caratterizzazione della *substance* water del compartment raw material, inserita nella categoria di impatto *Raw minerals* e avente unità di misura il kg.

1.4.7.4 Modifica del metodo *Eco-Indicators 99* per tenere conto degli incidenti stradali automobilistici

È stata definita la categoria di impatto Human Health Incidenti con unità di misura il DALY.

Per la caratterizzazione è stata definita la *substance* morte incidenti auto della category non material, attribuendole come unità di misura l'*amount* p , che corrisponde al numero di morti per auto, e un fattore peso $f_{pma} = 44,2857$ DALY/ p (che rappresenta il numero di anni di vita persi da un singolo individuo deceduto a causa di incidente stradale che ha coinvolto un automobile).

Tale valore è stato calcolato facendo le seguenti ipotesi:

- numero di morti nel comune di Padova, dovuti alle auto durante un anno: $n_{ma} = 11^3$. Si suppone che durante la vita dell'auto il numero di morti all'anno non cambi. In 10 anni, il numero di morti vale: 110.
- per la sostanza morte si assume un *disability rating* $d_r = 1$
- la categoria di impatto Human Health Incidenti per la *substance* morte incidenti auto produce una perdita di anni di vita calcolata facendo la media pesata degli anni di vita persi.

³ Cfr. ISTAT, Dati sugli incidenti stradali nel comune di Padova, 2001

Si considera che la distribuzione dei morti per fasce di età sia la stessa che è stata ipotizzata in uno studio precedente⁴ nel quale si era considerato il numero di morti annuo (n_{ma}) a livello nazionale, 7.000, e una vita media di 80 anni.

Gli anni di vita persi per un singolo incidente vengono calcolati nel modo seguente:

$$n_{ma20} = 2000 \text{ morti a 20 anni: anni di vita persi } avp_{20} = 80 - 20 = 60$$

$$n_{ma30} = 2000 \text{ morti a 30 anni: } avp_{30} = 50$$

$$n_{ma40} = 1000 \text{ morti a 40 anni: } avp_{40} = 40$$

$$n_{ma50} = 1000 \text{ morti a 50 anni: } avp_{50} = 30$$

$$n_{ma60} = 1000 \text{ morti a 60 anni: } avp_{60} = 20$$

$$a_{vpma} = \sum_i a_{vpa_i} \cdot (n_{ma_i} / n_{ma}) = 44.2857 \text{ DALY}$$

Tale numero non cambia al variare del numero annuo di morti, se si mantiene la stessa distribuzione dei morti per fasce di età.

Il fattore peso della caratterizzazione, pertanto, vale:

$$f_{pma} = d_r \cdot a_{vpma} = 44.2857 \text{ DALY} / p$$

La *substance* morte incidenti auto vale per gli incidenti dovuti ad auto, furgoni, camion e autobus. Come dato di input viene indicato il numero di morti per singola auto in 10 anni n_{ma10} . Poiché il numero di auto circolanti (pari alla metà delle auto rilevate) vale $n_a = 143.752^5$ e si suppone che durante la vita dell'auto tale numero rimanga costante, n_{ma10} vale:

$$n_{ma10} = n_{ma} \cdot 10 / n_a = 0,0007652 p$$

Oltre alla *substance* morte incidenti auto è stata definita anche la *substance* feriti incidenti auto della category non material, attribuendole l'*amount* p che corrisponde al numero di feriti per auto e il fattore peso $f_{pt} = 0,016110 \text{ DALY} / p$ (che rappresenta il numero di anni di vita persi da 1 persona coinvolta in un incidente stradale). Tale valore è stato calcolato facendo le seguenti ipotesi:

- per la sostanza feriti incidenti auto si assume il *disability rating* $d_{rf} = 0,392$ ottenuto dalla tabella statistica elaborata dall'Istituto Superiore di Sanità (ISS), che considera diversi tipi di malattia;

⁴ Cfr. Sassi D., *Analisi del ciclo di vita dell'automobile*, Documento ENEA PROT-P135-010.

⁵ Cfr. Comune di Padova - Settore Trasporti e Mobilità, *Indagine cordonale 1997*, aggiornata al 2000.

- il numero medio di giorni passati in ospedale dalla persona ferita è pari a 15 gg⁶
a cui corrisponde un numero di anni:

$$a_{hf} = 15gg / 365gg = 0,41096 \text{ DALY}$$

Il fattore peso della caratterizzazione vale:

$$f_{pf} = d_{rf} \cdot a_{hf} = 0,016110 \text{ DALY/p}$$

Come dato di input viene indicato il numero di feriti per auto in 10 anni n_{fa10} .

Si considera che la distribuzione dei morti per fasce di età sia la stessa che è stata ipotizzata in uno studio precedente⁹, nel quale si era considerato il numero di morti annuo a livello nazionale (700) e una vita media di 80 anni. Si suppone che durante la vita della moto tale numero non cambi.

Gli anni di vita persi per un singolo incidente vengono calcolati nel modo seguente:

$$n_{m20} = 300 \text{ morti a 20 anni: anni di vita persi } avp_{20} = 80 - 20 = 60$$

$$n_{m30} = 200 \text{ morti a 30 anni: } avp_{30} = 50$$

$$n_{m40} = 100 \text{ morti a 40 anni: } avp_{40} = 40$$

$$n_{m50} = 100 \text{ morti a 50 anni: } avp_{50} = 30$$

$$a_{vpm} = \sum_i a_{vpm_i} \cdot (n_{ma_i} / n_{ma}) = 50 \text{ DALY}$$

Tale numero non cambia al variare del numero annuo di morti, se si mantiene la stessa distribuzione dei morti per fasce di età. Il fattore peso della caratterizzazione vale:

$$f_{pmm} = d_r \cdot a_{vpm} = 50 \text{ DALY} / p$$

Come dato di input viene indicato il numero di morti per moto in 5 anni n_{mm5} . Poiché il numero di motoveicoli circolanti nel comune di Padova¹⁰ vale $n_{moto} = 18.430$ e si suppone che durante la vita del motociclo tale numero rimanga costante, esso vale:

$$n_{mm10} = n_{mm} \cdot 5 / n_{moto} = 0,0005426 p$$

Oltre alla *substance* morte incidenti moto è stata definita anche la *substance* feriti incidenti moto della category non material attribuendo ad essa l'*amount* p che corrisponde al numero di feriti per moto e il fattore peso $f_{pt} = 0,01611 \text{ DALY} / p$ (che rappresenta il numero di anni di vita persi da 1 persona coinvolta in un incidente stradale alla guida di una moto). Tale valore è stato calcolato facendo le seguenti ipotesi:

- per la sostanza feriti incidenti moto si assume il *disability rating* $d_{rf} = 0,392$ ottenuto dalla tabella statistica elaborata dall'ISS, che considera diversi tipi di malattia

⁹ Cfr, Sassi D., *Analisi del ciclo di vita dell'automobile*, Documento ENEA PROT-P135-010.

¹⁰ Cfr. Comune di Padova - Settore Trasporti e Mobilità, *Indagine cordonale 1997*, aggiornata al 2000.

- il numero medio di giorni passati all'ospedale dal ferito è pari a 15 gg¹¹ a cui corrisponde un numero di:

$$a_{hf} = 15gg / 365gg = 0,41096 \text{ DALY}$$

Il fattore peso della caratterizzazione vale:

$$f_{pf} = d_{rf} \cdot a_{hf} = 0,016110 \text{ DALY/p}$$

Come dato di input viene indicato il numero di feriti per veicolo a 2 ruote in 5 anni n_{fm5} . Poiché il numero di moto circolanti vale $n_{moto} = 18.430$, il numero di feriti nel comune di Padova nel 2000 è 1246¹² e che durante la vita del veicolo tali numeri restino costanti, n_{fm5} vale:

$$n_{fm5} = n_{fm} \cdot 5 / n_{moto} = 0,3380 \text{ p.}$$

1.4.7.6 Modifica del metodo Eco-Indicators 99 per tenere conto del disagio dovuto alla guida dell'auto

È stata definita la categoria di impatto Human Health Disagio con unità di misura il DALY.

Per la caratterizzazione è stata definita la *substance* disagio guida auto della category non material, attribuendo come unità di misura la *length* km e un fattore peso $f_{pmm} = 0,4229e-09 \text{ DALY/km}$ (che rappresenta il numero di anni di vita persi dalla persona che percorre un km in auto a causa del disagio dovuto alla non socializzazione, all'attenzione richiesta nella guida ed altro). Tale valore è stato calcolato facendo le seguenti assunzioni:

- numero di km percorsi nel traffico urbano in un giorno $l_g = 3,28$;
- velocità dell'auto¹³: $v = 23 \text{ km/h}$;
- tempo impiegato per percorrere l_g : $t_d = v / l_g = 8.6 \text{ min}$;
- tempo perso dal guidatore a causa del disagio: 5% del tempo totale necessario a percorrere la distanza prevista;
- *disability rating* per la sostanza disagio guida auto : $d_{rdisagio} = 0,001$;

¹¹ Cfr. Simone C. et Alii, *Analisi del Ciclo di Vita e dei costi della degenza di un paziente colpito da infarto presso il reparto di cardiologia dell'Ospedale di Correggio (RE)*, Documento ENEA OT-SBB-00018, Bologna 2002

¹² Cfr. ISTAT, Dati sugli incidenti stradali nel comune di Padova, 2001.

¹³ Cfr. Comune di Padova, *Piano Urbano della Mobilità*, Padova, dicembre 2001.

La categoria di impatto Human Health Disagio per la *substance* disagio guida auto produce una perdita di anni di vita che vale:

$$a_{vpd} = t_d / (365 \cdot 24 \cdot 60) / l_g = 4,963e - 6 \text{ a/km};$$

il fattore peso della caratterizzazione vale:

$$f_{pf} = d_{rdisagio} \cdot a_{vpd} = 4,963e - 9 \text{ DALY/km}$$

Come dato di input viene indicato il numero di km percorsi. Per questo è stato creato il *process* disagio per la guida auto che ha come emissione la *substance* disagio guida auto relativa ad 1 km.

1.5 Il codice di calcolo SimaPro 5.0

Esistono numerosi software utili a compiere l'analisi dell'impatto ambientale associato al ciclo di vita di un prodotto o di un processo: sono attualmente in commercio circa trentacinque *LCA software tool*, ciascuno dei quali offre differenti caratteristiche, livelli di complessità e banche dati.

Il software scelto per lo sviluppo di questo studio è il SimaPro 5.0, per ambiente Microsoft Windows®, creato dalla PRè (*Product Ecology Consultants-NL*). È un prodotto informatico complesso, che contiene al suo interno diversi database (denominati PRè Standard, BUWAL 250 e IVAM); questi comprendono le diverse categorie necessarie alla descrizione di un ciclo di vita in quanto vi si trovano, dettagliatamente classificati e descritti all'interno di ciascuna banca-dati, materiali, processi, energia e sistemi di trasporto, metodi di smaltimento e trattamento dei rifiuti.

Il SimaPro 5.0 è un software d'indagine iterativa molto aperto poiché le banche-dati di cui dispone possono in qualsiasi momento essere corrette e integrate in maniera flessibile, fornendo la possibilità di creare nuovi processi o materiali o di modificare quelli già esistenti, adattandosi alle necessità del caso studiato: i confini dello studio possono di conseguenza essere ampliati quando lo si ritenga necessario o quando si abbiano a disposizione le informazioni adeguate. Tale flessibilità è stata sfruttata anche in questo studio, introducendo per lo più materiali, processi e trattamenti di fine vita, necessari laddove i dati forniti dal software risultassero carenti o

insoddisfacenti allo scopo. Per contro il codice non consente di utilizzare contemporaneamente le tre banche dati a disposizione; ciò comporta la necessità di scegliere il database con il quale si procederà durante lo sviluppo del calcolo, prima di effettuare lo studio: nel caso del presente studio si è scelto di operare principalmente con il database standard (*PRè*), trasferendo in esso, ove necessario, alcuni dei processi descritti nelle restanti banche dati.

In Figura 8 è riportato lo schema di calcolo 

Come si può osservare dalla Figura 8, è necessario associare a ciascun oggetto dello studio un *Assembly*, un *Disposal scenario* e un *Life Cycle*. Ciascuna di queste strutture conterrà dati relativi alle tre fasi componenti il ciclo di vita, rispettivamente la produzione, il fine vita e la fase di uso del prodotto.

Il primo passo da compiere per l'effettuazione dello studio, consiste perciò nella definizione dell'*Assembly* all'interno del quale saranno raccolte le informazioni relative a tutti i componenti del prodotto; esso necessita, per il suo completamento, dei dati riguardanti i materiali (tipo e quantità), le lavorazioni (*Processing*), i quantitativi di energia impiegati, nonché le informazioni relative ad eventuali trasporti.

Il *Disposal scenario* rappresenta la struttura predisposta a racchiudere le informazioni sul fine vita di ciascun componente; essa dovrà, perciò, riferirsi a ciascuna delle *Assembly* precedentemente create. In questa fase dello studio si sceglie il tipo di smaltimento che si ritiene più verosimile, valutando se preferire le opzioni proposte dal codice: il *Reuse*, il *Disassembly*, una serie di *Waste scenarios* (*Incineration*, *Landfill*, *Recycling* ecc.) o scenari specifici inseriti dall'utente.

Il *Life Cycle* è la fase che permette di prendere in considerazione tutti gli aspetti legati all'utilizzo del prodotto, introducendo eventuali altri *Processing*, *Energy*, *Transport*, *Emission*. Esso può fare riferimento direttamente all'*Assembly* del prodotto oggetto di studio, o, altrimenti, anche a *Life Cycle* dei singoli componenti; questi, considerati in una visione d'insieme, concorreranno alla valutazione del LCA completo del prodotto in esame.

Il database, come detto, contiene tutti i dati necessari alla realizzazione delle strutture principali dell'LCA. Le informazioni sono organizzate e classificate secondo lo schema:

- *Material*: la categoria è suddivisa in numerose classi di materiali (*Building materials*, *Chemical*, *Ferro metals*, *Fuels*, *Non ferro metals*, ecc.). Per ciascuno di essi è indicato il *Waste Type*, una indicazione fondamentale che serve ad attribuire al materiale il trattamento (*Waste treatment*) e lo scenario (*Waste scenario*) appropriati. La segnalazione fornita dal *Waste Type* mostra, per ciascun materiale, la categoria di rifiuto alla quale esso appartiene e, di conseguenza,

come verrà considerato dal codice, in sede di smaltimento. Nel caso in cui tale indicazione non sia specificata, il codice, non essendo nota la categoria di rifiuto cui assegnare il materiale, non prevede di considerarlo all'atto della dismissione e, a conclusione dei calcoli, informa di tale situazione in un'apposita maschera.

- Processing: sono anch'essi suddivisi in diverse categorie, secondo una classificazione che raccoglie all'interno della stessa classe tutte le lavorazioni relative ad un certo tipo di materiale (ad esempio le lavorazioni tipiche dell'alluminio, delle plastiche, ecc.).
- Transport: la categoria è suddivisa in base alla tipologia di trasporto (su strada, ferrovia, acqua, aria); all'interno delle diverse tipologie trovano posto tutti i possibili mezzi di trasporto utilizzabili (auto, autotreno, moto, nave, treno).
- Energy: la categoria permette di inserire nello studio il tipo di energia utilizzata nelle fasi di produzione ed eventualmente in quelle di utilizzo del prodotto, classificandola secondo la fonte (nucleare, idroelettrica, da gas, ecc.) e secondo la zona di provenienza.

Nella Tabella 3 che segue sono sintetizzate alcune definizioni fondamentali per comprendere le caratteristiche e la struttura del programma.

Tabella 3 - La definizione dei termini utilizzati dal codice SimaPro 5.0

LCA - Life Cycle Assessment		Valutazione del ciclo di vita di un prodotto
<i>Assembly</i>		L'insieme delle informazioni riguardanti i processi di produzione dell'oggetto dello studio
<i>Disposal Scenario</i>		Il trattamento cui è sottoposto il prodotto in fase di smaltimento
<i>Additional life cycle</i>		Sono gli LCA dei prodotti o dei processi che si aggiungono e si innestano nel prodotto o nel processo fondamentale.
<i>Materials</i>		I materiali di cui è costituito il prodotto. La banca dati del codice fornisce l'impatto ambientale della loro produzione.
<i>Processes</i>		L'energia (<i>energy</i>), il trasporto (<i>transport</i>), i processi di lavorazione (<i>processing</i>), necessari per la realizzazione del prodotto.
<i>Waste Type</i>		Famiglie di materiali a cui il codice attribuisce alcuni tipi di trattamento dei rifiuti (<i>plastics, ferro metals, non ferro, textile, ...</i>)
<i>Waste Type not defined / others</i>		Il materiale considerato non ha un <i>Waste type</i> specificato, il codice non lo considera all'atto della dismissione del prodotto.
<i>Waste treatment</i>		Tipo di trattamento dei rifiuti che può essere attribuito alle famiglie <i>landfill, recycling, incineration, composting</i> .
<i>Waste scenario</i>		Sono le possibilità di trattamento a cui può essere sottoposto un prodotto dopo il suo utilizzo (<i>Municipal waste, Household waste, Landfill NL, Incineration NL, Recycling only</i>). Comprende al suo interno diversi <i>Waste treatment</i> , uno per ciascun <i>Waste Type</i> .
<i>Reuse</i>		Possibilità di riutilizzo del prodotto.
<i>Disassembly</i>		Le parti in cui il prodotto (<i>Assembly</i>) viene scomposto prima di essere smaltito come rifiuto. Alcune di esse possono essere riutilizzate.
<i>Raw materials</i>		Materiale grezzo
<i>Avoided products</i>		Rappresenta un prodotto evitato, ad esempio attraverso il riciclo o, meglio, il riuso.

2 Il contesto legislativo, tecnologico e gestionale

2.1 Direttive e politiche sui trasporti

Le prime direttive emanate a livello europeo in materia d'emissioni inquinanti da veicoli risalgono agli anni '70. Da allora vi è stata una notevole evoluzione con il continuo inasprimento dei limiti massimi imposti, compatibilmente con il progresso tecnologico in campo motoristico ed il miglioramento delle tecnologie di raffinazione del greggio.

È possibile individuare un percorso evolutivo della legislazione europea in materia di inquinamento veicolare. Le prime cinque direttive emanate costituiscono la base su cui sono state elaborate le successive e su cui si innestano quelle attualmente in vigore.

La prima direttiva in materia è stata la 70/220/CEE (ECE Regulation 15/00)⁽¹⁴⁾, introdotta il 20 marzo 1970, che ha fissato una prima serie di valori massimi per le emissioni di CO₂ e HC (idrocarburi totali) dei soli veicoli con motore a benzina. Per il soddisfacimento di questi requisiti non erano necessari particolari sistemi d'abbattimento di inquinanti a bordo del veicolo.

Alla base di questa direttiva vi fu la necessità che gli stati membri adottassero le stesse prescrizioni, in sostituzione di regolamenti nazionali⁽¹⁵⁾, al fine di permettere l'applicazione, per ogni tipo di veicolo, della procedura di omologazione CEE che forma oggetto della direttiva stessa.

L'esperienza acquisita nell'applicazione delle disposizioni della direttiva 70/220/CEE dimostrò che era opportuno modificare tali disposizioni, allo scopo di agevolare l'esecuzione da parte degli organismi competenti delle prove prescritte. Si è inoltre considerato che fosse altrettanto opportuno apportare talune modifiche che

⁽¹⁴⁾ Direttiva del Consiglio del 20 marzo 1970 concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli stati membri relative alle misure da adottare contro l'inquinamento atmosferico con i gas prodotto ad accensione comandata dei veicoli a motore (70/220/CEE).

⁽¹⁵⁾ Questo avveniva in considerazione del fatto che in Germania era stato pubblicato sul "*Bundesgesetzblatt I*" del 18 ottobre 1968 un decreto del 14 ottobre 1968, relativo a modificazioni della *Strassenverkehrs-sullassungs-ordnung*; e che tale decreto recava disposizioni relative alle misure da adottare contro l'inquinamento atmosferico provocato dai motori ad accensione comandata dei veicoli a motore. Tali disposizioni entrarono in vigore il 1° ottobre 1970. Anche in Francia era stato pubblicato sul "*Journal officiel*" del 17 maggio 1969 un decreto del 31 marzo 1969 concernente la composizione dei gas di scarico degli autoveicoli dotati di motore a benzina.

semplificassero la procedura amministrativa dell'omologazione di un tipo di veicolo a motore per quanto riguarda l'emissione d'inquinanti, in particolare allo scopo di permetterne l'estensione a tipi di veicoli che differiscano dal tipo inizialmente omologato per il peso e/o i rapporti totali di trasmissione.

In seguito a queste considerazioni si arrivò all'emanazione di una seconda direttiva, la 74/290/CEE (ECE Regulation 15/01)⁽¹⁶⁾, con la quale si individuò un'ulteriore inasprimento dei limiti per tali tipologie di motori, prescrivendo inoltre l'obbligo dell'utilizzo di carburatori che consentano di rispettare il limite prescritto riguardo alle emissioni durante il funzionamento al minimo in tutte le posizioni degli elementi di regolazione lasciati a disposizione degli utenti. La direttiva 77/102/CEE (ECE Regulation 15/02) ha introdotto, per la prima volta, dei valori massimi per gli NO_x.

La Commissione Europea ha emanato, negli anni successivi, ulteriori direttive al fine di ridurre ulteriormente i valori limite delle singole emissioni (la direttiva 78/665/CEE) e ha introdotto *ex novo* dei limiti massimi alle emissioni dei veicoli diesel, che non erano stati presi in considerazione fino ad allora per la loro scarsa diffusione, con la pubblicazione della direttiva comunitaria 83/351/CEE (ECE Regulation 15/04).

In queste prime direttive i limiti delle emissioni erano espressi in grammi/test e variavano in funzione delle dimensioni e del peso del veicolo.

Nel decennio 1980-1990 la Commissione Europea ha emanato una direttiva di notevole rilievo, la 88/77/CEE⁽¹⁷⁾, che stabiliva i valori limite delle emissioni di motori diesel e a gas. Inoltre, la medesima ha posto le prime basi sulle procedure di prova per lo studio delle emissioni dei veicoli commerciali pesanti, stabilendo che le misure devono essere eseguite ponendo il motore direttamente sul banco

⁽¹⁶⁾ Direttiva del Consiglio del 28 maggio 1974 per l'adeguamento al progresso tecnico della direttiva 70/220/CEE concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative alle misure da adottare contro l'inquinamento atmosferico con i gas prodotti dai motori ad accensione comandata dei veicoli a motore (74/290/CEE).

⁽¹⁷⁾ Direttiva 88/77/CEE del Consiglio, del 3 dicembre 1987, concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative ai provvedimenti da prendere contro l'emissione di gas inquinanti prodotti dai motori Diesel destinati alla propulsione dei veicoli.

dinamometrico e considerando 13 diverse condizioni di funzionamento del motore stesso.

La direttiva 91/441/CEE⁽¹⁸⁾, indicata con la sigla “EURO I”, è detta “*Consolidated Emission Directive*”. Questa è stata una direttiva innovativa, poiché ha introdotto numerosi cambiamenti rispetto a quelle precedenti e ha costituito un modello di riferimento per le direttive successive. A seguito della sua emanazione si è reso necessario dotare i veicoli a benzina di nuova produzione di opportuni sistemi di abbattimento tanto delle emissioni allo scarico (catalizzatori a tre vie) che delle emissioni evaporative (canister con carboni attivi). Concretamente questi dispositivi si sono però diffusi in Europa in modo significativo solo a partire dal 1993.

In seguito sono stati definiti anche i limiti emissivi per i veicoli commerciali leggeri ed equivalenti (93/59/EC). Valori limite ancora più ridotti per le emissioni automobilistiche sono stati poi sanciti con le direttive 94/12/EC (chiamata anche EURO II), la 96/542/EEC e poi dalla 96/1/EC per la classe dei veicoli commerciali pesanti.

Parallelamente all’attività legislativa descritta, a partire dal 1992 la Commissione Europea ha condotto un programma di lavoro mirato ad analizzare i problemi connessi al traffico automobilistico: l’*Auto-Oil Programme*. A seguito delle conclusioni raggiunte da questo studio, nel 1996 la Commissione ha elaborato una precisa strategia per l’abbattimento delle emissioni inquinanti da autotrazione (NO_x, C₆H₆, CO, ecc.) in determinate percentuali, riferite alle emissioni attuali, da raggiungere entro il 2010.

Questo piano ha previsto l’emanazione di standard di emissione più stringenti, la diffusione di carburanti di migliore qualità e specifiche attività di manutenzione per le vetture circolanti. Nel 1997 è iniziata la seconda parte del programma di studio, denominata *Auto-Oil II*.

⁽¹⁸⁾ Direttiva 91/441/CEE del Consiglio, del 26 giugno 1991, che modifica la direttiva 70/220/CEE concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati Membri relative alle misure da adottare contro l’inquinamento atmosferico con le emissioni dei veicoli a motore.

Le conclusioni raggiunte dalla prima parte sono state rese effettive con la concreta applicazione delle direttive 98/69/EC⁽¹⁹⁾ e 98/70/EC⁽²⁰⁾, identificate anche come EURO III ed EURO IV, rivolte al decennio 2000 – 2010.

Le Direttive attualmente in vigore EURO III ed EURO IV hanno sostituito a partire dagli anni successivi al 2000 la EURO I e la EURO II. Esse impongono ai costruttori, nella progettazione e nella realizzazione degli autoveicoli, il rispetto delle limitazioni imposte sulle emissioni inquinanti, stabilendone i limiti e le procedure standard per la loro verifica.

2.1.1 Direttiva 98/69/EC (EURO III)

Come si è visto, già alla fine degli anni '80 (direttiva 78/665/CEE), il Consiglio delle Comunità Europee, con alcune direttive, ha introdotto valori limite per le emissioni di particelle inquinanti prodotte dai motori diesel; successivamente sono state prescritte nuove norme europee più severe per le emissioni di gas inquinanti dei veicoli a motore di cilindrata inferiore a 1.400 cm³ (poi estese a tutte le autovetture indipendentemente dalla loro cilindrata sulla base di un procedimento di prova europeo perfezionato comprendente un ciclo di guida extraurbano).

Il Consiglio ha introdotto, inoltre, prescrizioni relative alle emissioni di vapori e alla durata delle emissioni riferite ai componenti dei veicoli, nonché norme più severe sul particolato prodotto dai veicoli muniti di motori diesel.

In questo senso per il quinquennio 2000-2005, la Commissione Europea ha sancito diversi e importanti obiettivi emanando la direttiva 98/69/EC, (EURO III).

La Commissione propone queste nuove norme da applicare seguendo un nuovo approccio articolato, basato su una valutazione globale costo/efficacia di tutte le misure volte a ridurre l'inquinamento provocato dal traffico stradale, che oltre a comprendere norme più restrittive sulle emissioni delle autovetture, prevede misure complementari, come il miglioramento della qualità del carburante e un rafforzamento del programma di ispezione e manutenzione del parco

⁽¹⁹⁾ Direttiva 98/69/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 13 ottobre 1998 relativa alle misure da adottare contro l'inquinamento atmosferico da emissioni dei veicoli a motore e recante modificazione della direttiva 70/220/CEE del Consiglio.

⁽²⁰⁾ Direttiva 98/70/CE del Parlamento europeo e del consiglio del 13 ottobre 1998 relativa alla qualità della benzina e del combustibile diesel e recante modificazione della direttiva 93/12/CEE del Consiglio.

automobilistico, che devono essere basate sulla fissazione di criteri di qualità dell'aria e dei relativi obiettivi di riduzione delle emissioni e su una valutazione costo/efficacia di ciascun pacchetto di misure, tenendo conto del potenziale contributo di altre misure come la gestione del traffico, il potenziamento del trasporto pubblico urbano, le nuove tecnologie di propulsione o l'utilizzo di carburanti alternativi.

E' necessario sottolineare che per contribuire a risolvere il problema dell'inquinamento atmosferico è necessario intervenire con una strategia globale che integri gli aspetti tecnologici, gestionali e fiscali per lo sviluppo di una mobilità sostenibile, tenendo conto delle caratteristiche specifiche delle diverse aree urbane europee. Per questo motivo la Commissione ha realizzato un programma europeo sulla qualità dell'aria, sulle emissioni provocate dal traffico stradale e sulle tecnologie dei combustibili e dei motori (il programma *Auto-Oil*), attuando gli interventi comunitari di promozione della ricerca e dello sviluppo nel campo dell'auto pulita.

L'emanazione della direttiva europea 98/69/CE è basata sulla conclusione del programma *Auto-Oil*, il cui obiettivo era quello di individuare gli elementi più significativi per intervenire efficacemente contro l'inquinamento atmosferico veicolare e assicurare che le proposte delle direttive sulle emissioni inquinanti s'ispirassero alle soluzioni più vantaggiose sia per i consumatori sia per l'economia.

La direttiva analizzata fissa dei limiti ancora più restrittivi, compatibilmente con le tecnologie antinquinamento raggiunte, e introduce delle modifiche alla EURO I per quanto riguarda le modalità di esecuzione di test di omologazione dei veicoli di nuova produzione e di adeguamento di quelli esistenti in circolazione nei paesi della Comunità. La EURO I prevedeva, infatti, che i soli veicoli della categoria N1²¹, e di massa inferiore a 2500 kg, prima dell'esecuzione delle prove, dovessero esser tenuti al regime di minimo per un tempo di 40 secondi: con nuova direttiva questa fase è stata eliminata, per potere rappresentare meglio le emissioni reali di un veicolo dopo una partenza del motore a freddo.

²¹ La categoria N1 indica i veicoli destinati al trasporto merci, aventi peso massimo non superiore a 3,5 tonnellate.

La presente direttiva si applica alle emissioni di gas di scarico a temperatura ambiente normale e a temperatura ambiente bassa, alle emissioni per evaporazione, alle emissioni di gas dal basamento, alla durata dei dispositivi antinquinamento e ai sistemi per la diagnostica di bordo (OBD) dei veicoli a motore ad accensione comandata, nonché alle emissioni dallo scarico, alla durata dei dispositivi antinquinamento e ai sistemi diagnostici di bordo (OBD) dei veicoli a motore ad accensione spontanea delle categorie M1²² e N1.

Per "OBD" la Commissione Europea ha inteso un sistema diagnostico di bordo per il controllo delle emissioni, capace di identificare la zona in cui si è probabilmente verificato un guasto per mezzo di codici di guasto inseriti nella memoria del computer.

La direttiva EURO III ha aggiunto nuovi test da eseguire sul veicolo in prova:

- Prova TIPO VI per la verifica delle emissioni medie di CO/HC allo scarico, a bassa temperatura ambiente (pari a -7°C) e dopo una partenza a freddo. Tale prova è stata estesa solo ai veicoli a benzina delle categorie M1 e N1 con massa inferiore ai 2500 kg. Il ciclo che deve essere compiuto dal veicolo di prova è uguale alla prima parte del ciclo complessivo della prova TIPO I, condotta però a bassa temperatura ambiente e deve durare circa 780 secondi.
- Prove OBD per veicoli sia diesel sia benzina dotati di sistemi di diagnostica a bordo (OBD = *On Board Diagnostic*): nella direttiva, per la prima volta, viene affermata la necessità di dotare i veicoli di sistemi opportuni che rendano immediata l'identificazione di eventuali guasti dei dispositivi di controllo delle emissioni installati a bordo. Occorre però, notare che, in base al livello tecnico ed alle conoscenze finora raggiunte, non è possibile installare strumenti che segnalino direttamente il malfunzionamento di tali dispositivi. Quindi l'unica procedura di diagnostica attualmente applicabile è data dalla periodica misurazione (in modo discreto) dei valori effettivi delle concentrazioni degli inquinanti allo scarico.

²² La categoria M1 rappresenta i veicoli destinati al trasporto di persone, aventi al massimo otto posti a sedere oltre al sedile del conducente.

Infine, vista la complessità degli obiettivi descritti e la necessità di dover armonizzare le varie azioni da intraprendere, la Commissione adotta un approccio in due fasi. La direttiva 98/69/CE, come la 98/79/CE (detta EURO IV) relativa alla qualità dei combustibili per autotrazione, fissa dei valori limite da rispettare a partire dal 2000 e ulteriori limiti ancora più restrittivi che devono essere soddisfatti dal 2005.

Per le emissioni veicolari, la Commissione ha sancito questi obiettivi, espressi in grammi al chilometro (Tabella 4):

Tabella 4 - Limiti alle emissioni veicolari sancite per le scadenze del 2000 e del 2005 [dalla Direttiva Europea 98/69/CE EURO III]

ANNO	CO		HC		NO _x		HC+ NO _x		PM	
	Benz.	Diesel	Benz.	Diesel	Benz.	Diesel	Benz.	Diesel	Benz.	Diesel
2000	2,3	0,64	0,20	/	0,15	0,50	/	0,56	/	0,05
2005	1,0	0,50	0,10	/	0,08	0,25	/	0,30	/	0,025

Viene ribadito ancora una volta l'impegno che i vari stati membri della comunità devono produrre per favorire il rinnovamento del parco circolante, proponendo un'ulteriore modalità di intervento rispetto alla EURO II per accelerare tale processo. La Commissione Europea consente agli Stati membri di promuovere il rinnovamento con incentivi fiscali definiti, entro specifici limiti, dalla stessa Commissione.

Il miglioramento delle prescrizioni relative alle autovetture nuove e ai veicoli commerciali leggeri, previsto da queste norme, è parte di una coerente strategia comunitaria globale che prevede inoltre, a decorrere dall'anno 2000, una revisione delle norme relative ai veicoli commerciali leggeri e ai veicoli pesanti, un miglioramento dei combustibili e una verifica più accurata delle emissioni dei veicoli in circolazione.

2.1.2 Direttiva 98/70/CEE

Nel 1998 fu stata emanata una direttiva relativa

direttiva, la 98/70/CEE_z prevede il raggiungimento dei valori prefissati con due scadenze: una al 2000 ed una seconda al 2005.

In sintesi essa ha come obiettivi la progressiva riduzione del tenore di idrocarburi aromatici e di olefine, con particolare riguardo per il benzene, e del contenuto di sostanze a base di zolfo e di piombo. Una delle considerazioni su cui poggiano le decisioni prese nella direttiva fu quella per cui gli inquinanti atmosferici primari, quali gli ossidi di azoto, gli idrocarburi incombusti, il particolato, il monossido di carbonio, il benzene, e altri gas di scarico nocivi che contribuiscono alla formazione degli inquinanti secondari come l'ozono, sono contenuti in quantità rilevanti nei gas di scarico e nelle emissioni per evaporazione dei veicoli a motore, creando così un rischio notevole per la salute dell'uomo e per l'ambiente.

La nuova impostazione europea in materia comporta anche un nuovo approccio per le politiche di riduzione delle emissioni che sono state attuate a partire dall'anno 2000 e richiede alla Commissione di esaminare, tra l'altro, in quale misura il miglioramento della qualità della benzina, del combustibile diesel e d'altri combustibili possa ridurre l'inquinamento atmosferico.

Il programma europeo *Auto-Oil*, presentato in una comunicazione della Commissione sulla strategia futura per il controllo delle emissioni atmosferiche provocate dai trasporti stradali, contribuisce ad una base scientifica, tecnica ed economica per raccomandare l'introduzione, a livello comunitario, di nuove specifiche ecologiche per la benzina e il combustibile diesel, che sono alla base della direttiva trattata.

La direttiva ha sancito all'articolo 3 comma 2 lett. a), che a partire dal 1° gennaio 2000 gli Stati membri dovessero commercializzare soltanto benzine senza piombo conformi alle specifiche ecologiche indicate nell'allegato I della direttiva stessa, mentre a partire dal 2005 dovrà essere commercializzata solo benzina senza piombo conforme alle specifiche ecologiche nell'allegato III.

Nell'allegato II e IV, invece, sono contenute le specifiche ecologiche del combustibile diesel per il 2000 e il 2005 destinato ai veicoli con motore ad accensione per compressione.

L'attuazione di una combinazione di misure, adottate a livello europeo, nazionale, regionale e locale miranti a ridurre le emissioni dei veicoli, fa parte della strategia globale della Commissione per ridurre in modo equilibrato ed economicamente efficace le emissioni nell'atmosfera provocate da fonti mobili e fisse e l'introduzione di specifiche ecologiche per la benzina e il combustibile diesel costituisce un elemento importante del pacchetto di misure economicamente efficaci.

La direttiva stabilisce, per ragioni di tutela della salute e dell'ambiente, le specifiche tecniche relative ai carburanti da utilizzare nei veicoli con motore ad accensione comandata e motore ad accensione per compressione (diesel), allo scopo di proteggere la salute dell'uomo e/o l'ambiente in determinati agglomerati o in determinate aree ecologicamente sensibili che incontrano speciali difficoltà in fatto di qualità dell'aria.

Gli Stati membri quindi dovrebbero avere la facoltà, secondo una procedura stabilita nella presente direttiva, di imporre che i combustibili possano essere immessi in commercio soltanto se sono conformi a specifiche ecologiche più rigorose di quelle previste dalla presente direttiva.

2.1.3 Direttiva 1999/96/CE

Le emissioni degli autobus a metano attualmente circolanti sono contemplate nella recente Direttiva 1999/96/CE⁽²³⁾ detta anche EURO III²⁴, che oltre ad introdurre nuove e più complesse modalità di prova rispetto alla Direttiva 88/77/CEE, per la prima volta prevede specifici parametri per questa tipologia di autobus.

La direttiva 88/77/CEE prescriveva dei valori limite per le emissioni di ossido di carbonio, idrocarburi incombusti e ossidi di azoto prodotti dai motori ad accensione spontanea destinati ai veicoli a motore, basati su una procedura di prova rappresentativa delle condizioni europee di circolazione per i veicoli in questione.

²³ Direttiva 1999/96/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 13 dicembre 1999 sul ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative ai provvedimenti da prendere contro l'emissione di inquinanti gassosi e di particolato prodotti dai motori ad accensione spontanea destinati alla propulsione di veicoli e l'emissione di inquinanti gassosi prodotti dai motori ad accensione comandata alimentati con gas naturale o con gas di petrolio liquefatto destinati alla propulsione di veicoli e che modifica la direttiva 88/77/CEE del Consiglio.

²⁴ Da non confondere con la direttiva 98/69/EC, detta anche essa Euro III, ma che indica i limiti di emissioni per gli autoveicoli.

Detta direttiva è stata modificata una prima volta dalla direttiva 91/542/CEE²⁵ la quale prevedeva due fasi, di cui la prima (1993) coincideva con le date d'entrata in vigore delle nuove norme europee in materia d'emissioni delle autovetture; la seconda fase (1996) stabiliva una prospettiva di lungo termine per l'industria automobilistica europea fissando valori limite basati sul previsto progresso delle tecnologie ancora in fase di sviluppo, in modo da assegnare all'industria un periodo di tempo sufficiente al perfezionamento delle tecnologie medesime.

La direttiva 99/96/CE, in analisi, riguarda gli inquinanti gassosi e il particolato emessi da tutti i veicoli azionati da motori ad accensione spontanea²⁶ e gli inquinanti gassosi emessi da tutti i veicoli azionati da motori ad accensione comandata alimentati a gas naturale o GPL, e i motori ad accensione spontanea destinati alla propulsione di veicoli e contro l'emissione di inquinanti gassosi prodotti dai motori ad accensione comandata alimentati con gas naturale o con gas di petrolio liquefatto destinati alla propulsione di veicoli.

Per i motori a gas, ma anche per i motori diesel sottoposti aggiuntivamente alla prova ETC²⁷, le masse specifiche del monossido di carbonio, degli idrocarburi diversi dal metano (se del caso), degli ossidi d'azoto e del particolato (se del caso) non devono superare i valori limite indicati nella Tabella 5.

²⁵ Direttiva 91/542/CEE del Consiglio, del 1° ottobre 1991, che modifica la direttiva 88/77/CEE del Consiglio, del 3 dicembre 1987, concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative ai provvedimenti da prendere contro l'emissione di gas inquinanti prodotti dai motori Diesel destinati alla propulsione di veicoli.

²⁶ I motori ad iniezione hanno "accensione spontanea", dovuta a compressione e non utilizzano candele per l'accensione.

²⁷ La prova consiste in un ciclo prescritto di condizioni di funzionamento a caldo del motore, basato strettamente su condizioni di guida stradale specifiche di motori per veicoli pesanti installati su autocarri e autobus, si determinano gli inquinanti.

Tabella 5 - Valori limite – prova ETC (valori espressi in g/kWh)

	Massa di monossido di carbonio (CO)	Massa di idrocarburi diversi dal metano (NMHC)	Massa di metano (CH ₄)[*]	Massa di ossidi di azoto (NO _x)	Massa di particolato (PT)
A (2000)	5,45	0,78	1,6	5,0	0,16
B1(2005)	4,0	0,55	1,1	3,5	0,03
B2 (2008)	4,0	0,55	1,1	2,0	0,03
C (EEV)	3,0	0,40	0,65	2,0	0,02

A,B1,B2,C indicano i regimi del motore. EEV, veicolo ecologico migliorato.

[*] Solo per i motori a GN

Il primo programma di azione della Commissione Europea in materia di protezione dell'ambiente, approvato dal Consiglio nel 1973, invitava a tener conto dei più recenti progressi scientifici nella lotta contro l'inquinamento atmosferico provocato dai gas emessi dai veicoli a motore e ad adeguare in tal senso le direttive già adottate. Inoltre, il Quinto Programma d'Azione del febbraio 1993 prevedeva che venissero compiuti ulteriori sforzi per ridurre significativamente il livello delle emissioni inquinanti dei veicoli a motore.

Le normative sulle emissioni dei veicoli diesel hanno portato nell'arco di poco più di 10 anni una riduzione delle sostanze inquinanti molto consistente. Complessivamente oggi sono pari a circa un terzo rispetto a quelle di 10 anni fa.

In Tabella 6 è riassunta l'evoluzione delle normative per contenere le emissioni allo scarico nei veicoli diesel e le emissioni degli autobus a motore diesel. E' immediato notare come l'emissione di particolato, oggi riconosciuta nociva per la salute umana grazie a studi epidemiologici, sia stata regolamentata solo a partire dal 1992.

Tabella 6 - Evoluzione dei limiti d'emissione (valori espressi in g/kWh)

	CO	HC	PT	NO _x	TOTALE
EURO 0 (30/09/1989)	11,2	2,4	Non rilevato	14,4	28,0
EURO I (1/07/1992)	4,5	1,1	0,4	8,0	14,0
EURO II (1/10/1995)	4,0	1,1	0,15	7,0	12,3
EURO III (1/10/2000)	2,1	0,66	0,1	5,0	7,9

La Direttiva 1999/96/CE ha fissato i valori limite (Tabella 7) da rispettare a partire dal 2000 delle masse specifiche del monossido di carbonio, degli idrocarburi totali, degli ossidi di azoto, e del particolato, determinate secondo la prova ESC²⁸ e del fumo, determinato secondo la prova ELR²⁹.

Tabella 7 - Valori limite – prove ESC ed ELR (valori espressi in g/kWh)

	Massa di monossido di carbonio (CO)	Massa d'idrocarburi (HC)	Massa d'ossidi d'azoto (NO _x)	Massa di particolato (PT)	Fumo m-1
A (2000)	2,1	0,66	5,0	0,10	0,8
B1 (2005)	1,5	0,46	3,5	0,02	0,5
B2 (2008)	1,5	0,46	2,0	0,02	0,5
C (EEV)	1,5	0,25	2,0	0,02	0,15

A,B1,B2,C indicano i regimi del motore. EEV, veicolo ecologico migliorato.

La Commissione ha realizzato un programma europeo sulla qualità dell'aria, sulle emissioni provocate dal traffico stradale e sulle tecnologie dei combustibili e dei motori (il programma *Auto-Oil*) in concomitanza con uno studio di redditività

²⁸ La prova consiste in una sequenza prescritta di condizioni di funzionamento del motore a caldo, esaminando in continuo le emissioni allo scarico e prelevando un campione dal gas di scarico grezzo. Il ciclo di prova è costituito da un certo numero di modalità di regime e di potenza che coprono l'intervallo tipico di funzionamento dei motori diesel.

²⁹ La prova consiste nel sottoporre il motore, a velocità costante, a un carico dal 10% al 100% a tre differenti regimi. Si misura mediante un opacimetro il fumo emesso a caldo da un motore durante una prova di risposta a carichi prescritti.

economica condotto nell'ambito del programma medesimo, che ha dimostrato la necessità di un miglioramento ulteriore della tecnologia dei motori ad accensione spontanea per veicoli pesanti con l'obiettivo di realizzare entro il 2010 il miglioramento della qualità dell'aria.

2.1.4 Direttiva 97/24/CE: conformità della produzione dei ciclomotori

Le prime restrizioni relative alle emissioni da ciclomotori e motocicli si sono avute con l'emanazione della Direttiva Comunitaria 97/24/EC⁽³⁰⁾. L'omologazione europea fissa dei valori per le emissioni di monossido di carbonio (CO), idrocarburi incombusti (HC) e ossidi di azoto (NO_x).

Rispetto all'omologazione nazionale fissa anche prescrizioni tecniche più severe contro le emissioni acustiche, i requisiti di sicurezza e contro le manomissioni.

L'applicazione di questa Direttiva Europea è stata prevista in due fasi successive di cui la seconda con prescrizioni più severe della prima:

- EURO I (prima fase): a partire dal 17/6/99 tutti i veicoli omologati (non già prodotti o venduti) dovranno rispettare limiti più restrittivi. Questa prima fase consente quindi la vendita e l'utilizzo di tutti i veicoli omologati prima del 17/06/99, e giacenti presso le concessionarie e le aziende produttrici, senza alcun limite di scadenza;
- EURO II (seconda fase): a partire dal 17/06/02 i veicoli di nuova omologazione dovranno rispettare limiti sulle emissioni inquinanti e sonore più restrittivi di quelli previsti dalla EURO I.

E' in ogni modo consentita, fino al 17 giugno 2006, la vendita di veicoli già omologati secondo le normative EURO I.

Tale direttiva contiene delle prescrizioni relative alle misure contro l'inquinamento atmosferico prodotto dai ciclomotori. Il ciclomotore deve essere sottoposto a due tipi di prove:

- Prova di tipo I: permette di controllare le emissioni medie di inquinanti gassosi in una zona urbana a traffico denso. La prova viene ripetuta tre volte, durante le

⁽³⁰⁾ Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio del 17 giugno 1997 relativa a taluni elementi o caratteristiche dei veicoli a motore a due o a tre ruote (97/24/CE).

quali le masse di monossido di carbonio, di idrocarburi incombusti e di ossidi di azoto ottenute devono essere inferiori ai valori limite indicati nella Tabella 8.

Tabella 8 - Limiti di omologazione per ciclomotori e motocicli (valori in g/km)

	Omologazione e conformità della produzione	
Fasi	CO (g/km)	HC + NO_x (g/km)
24 mesi dalla data di adozione della direttiva	6	3
36 mesi dall'attuazione della prima fase	1	1,2

- Prova di tipo II: permette di controllare le emissioni di monossido di carbonio e di idrocarburi incombusti con motore al minimo. Tali emissioni devono essere registrati per la durata di un minuto. Le misure comunitarie oggetto della presente direttiva sono necessarie, anzi indispensabili, per conseguire gli obiettivi prestabiliti, vale a dire l'omologazione comunitaria per tipo di veicolo, considerando che, data la portata e le conseguenze dell'azione proposta nel settore in questione.

Ulteriori riduzioni dei valori limite e le modifiche della procedura di prova possono essere decise soltanto sulla base di studi e ricerche da intraprendere o da proseguire sulle possibilità tecnologiche disponibili o prevedibili e sull'analisi del rapporto costi/benefici per consentire la produzione su scala industriale di veicoli in grado di rispettare tali limiti più rigorosi.

2.1.5 Direttiva 2000/53/CE : smaltimento dei veicoli di trasporto radiati

Gli impatti ambientali dei veicoli a fine vita vanno posti in relazione ad un gran numero di fattori e di soggetti coinvolti: essi sono direttamente connessi al comportamento dei proprietari, alle caratteristiche organizzative delle attività di ritiro, demolizione, recupero e smaltimento dei materiali dei veicoli a fine vita; inoltre, essi sono indirettamente ma fortemente dipendenti dalle caratteristiche progettuali dei veicoli (caratteristiche di smontaggio, idoneità dei materiali al recupero/riciclaggio/riuso, ecc.) e dall'efficacia del sistema di governo nello

svolgimento di funzioni essenziali (regolamentazione, rilascio delle autorizzazioni ai demolitori e smaltitori, controllo, gestione dell'informazione, formazione, ecc.).

Il settore della demolizione/recupero/smaltimento dei veicoli a fine vita è stato finora poco analizzato dal punto di vista organizzativo e ambientale, soprattutto mediante ricerche quantitative.

Le indagini conoscitive svolte a livello comunitario fin dall'inizio degli anni novanta hanno posto in evidenza importanti problemi ambientali, tanto da indurre la Commissione Europea a emanare nel 1997 una proposta di direttiva del Consiglio sui veicoli fuori uso (COM 97 358), successivamente modificata dalla stessa Commissione nel 1999 per tenere conto degli emendamenti proposti dal Parlamento Europeo (COM 99 176)⁽³¹⁾.

Nella relazione di accompagnamento della proposta di direttiva si sostiene che “[...] *in molti Stati membri il trattamento dei veicoli fuori uso viene spesso effettuato nella totale assenza di controllo da parte delle autorità pubbliche; solo una percentuale minima degli operatori del settore è debitamente autorizzata, mentre il mercato dei pezzi di ricambio riesce spesso a sottrarsi alla normale regolamentazione commerciale, amministrativa e fiscale [...]*”.

Oltre che cercare di rispondere a questi problemi, la direttiva intende prevenire anche altre azioni che hanno gravi conseguenze ambientali, come l'abbandono diretto del veicolo nell'ambiente, la sua consegna ad un demolitore non autorizzato o il suo smaltimento in paesi del Terzo Mondo.

Nel 1997, anticipando alcuni punti della proposta di direttiva, sono state introdotte in Italia importanti innovazioni nella disciplina dei veicoli a fine vita (art. 46 del D. Lgs. n. 22/97, cosiddetto “Decreto Ronchi”), fra cui quelle tese ad evitare l'abbandono dell'auto nell'ambiente, ad assicurare un corretto trattamento dell'auto a fine vita e a monitorare il flusso di rifiuti speciali originati dalle attività di trattamento e recupero dei materiali dei veicoli radiati⁽³²⁾. Al momento, tuttavia, non

⁽³¹⁾ La finalità della direttiva è l'istituzione di misure volte alla prevenzione della produzione di rifiuti provenienti dai veicoli (autovetture, veicoli merci leggeri, due/tre ruote), nonché al reimpiego, al riciclaggio e ad altre forme di recupero dei veicoli e loro componenti e materiali, in modo da ridurre il volume dei rifiuti da smaltire e migliorare il funzionamento degli impianti dal punto di vista ambientale.

⁽³²⁾ In base alla normativa citata, i veicoli a motore fuori uso sono “rifiuti speciali” (art. 3 del D. Lgs. 22/97) e rientrano nel Catalogo Europeo dei Rifiuti (cod. CER 16 00 00). Inoltre, essi dovrebbero

sono ancora stati pubblicati dati di fonte istituzionale riguardanti questa tipologia di rifiuto ed è, quindi, assai difficile ricostruire il bilancio quantitativo della destinazione dei materiali dell'auto a fine vita.

Dalla lettura del documento legislativo consolidato del 3 febbraio 2000, in vista dell'adozione della direttiva 2000/53/CE⁽³³⁾ del Parlamento Europeo e del Consiglio, emerge la finalità di ridurre l'impatto dei veicoli fuori uso sull'ambiente, contribuendo così alla protezione e salvaguardia della qualità dell'ambiente stesso nonché alla conservazione dell'energia.

Un'importante novità introdotta, è quella secondo cui nella fase della progettazione e produzione dei veicoli nuovi dovrebbero già entrare le prescrizioni di demolizione, di reimpiego e di riciclaggio.

La direttiva 2000/53/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 18 settembre relativa ai veicoli fuori uso ha istituito misure volte a prevenire la produzione di rifiuti derivanti da veicoli, ad attuare il reimpiego ed il riciclaggio.

L'Unione Europea, con tale specifica direttiva pubblicata sulla GUCE il 21 ottobre del 2000, ha tracciato il quadro di norme, metodologie, parametri e obiettivi che tutte le nazioni aderenti all'Unione dovrebbero avere accolto a partire dal 21 aprile 2002.

La direttiva emana un complesso di disposizioni per il recupero e lo smaltimento di tutti i veicoli a fine vita, (con l'esclusione dei veicoli a tre ruote di peso inferiore a 10 quintali e dei veicoli di peso superiore a 35 quintali).

Due i principali obiettivi della Direttiva:

- stabilire un limite minimo per il riciclaggio di una parte consistente del veicolo a fine vita;
- permettere l'esercizio della libera concorrenza tra gli operatori economici della demolizione e dello smaltimento.

rientrare nell'ambito di applicazione della normativa vigente in materia di rifiuti speciali anche per quanto concerne l'obbligo alla dichiarazione del MUD relativa alle quantità e alle caratteristiche qualitative dei rifiuti prodotti, recuperati e smaltiti (informazioni raccolte dal Catasto nazionale dei rifiuti).

⁽³³⁾ Direttiva del 18 settembre 2000 del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa ai veicoli fuori uso ha istituito misure volte a prevenire la produzione di rifiuti derivanti da veicoli, ad attuare il reimpiego ed il riciclaggio (2000/53/CE).

Tutte le fasi della rottamazione, dalla consegna alla demolizione, sono regolamentate dalla Direttiva. Sotto l'aspetto della prevenzione della produzione dei rifiuti si sottolinea la necessità che gli Stati Membri istituiscano sistemi e centri di raccolta di tutti i veicoli fuori uso ma anche impianti di trattamento autorizzati. Gli impianti di trattamento devono procedere allo smontaggio delle componenti dei veicoli, alla rimozione e separazione dei materiali e componenti pericolosi in modo selettivo così da non contaminare i successivi rifiuti frantumati. Per quanto attiene le altre due fasi, il reimpiego ed il riciclaggio, la direttiva indica come soluzione privilegiata quella del riciclaggio, mentre ha stabilito che gli Stati Membri devono adottare provvedimenti necessari a conseguire un reimpiego e recupero dei veicoli fuori uso pari almeno all'85% del peso medio per veicolo. L'obiettivo deve essere attuato entro il 1° gennaio 2006. In considerazione dell'elevata presenza di veicoli prodotti prima del 1980 la direttiva permette di ridurre tali obiettivi, ma non oltre il 75%. Tale percentuale deve poi raggiungere il 95% entro il gennaio del 2015.

Altri elementi salienti della Direttiva sono i seguenti:

- il recupero: è previsto che siano gli stessi produttori a provvedere al recupero dei veicoli a fine vita, per evitare che i costi della rottamazione scorraggino i privati a disfarsi di un veicolo non circolante. La norma non incontra il favore di tutti i costruttori, che ritengono che quest'onere andrà semplicemente a gravare sul costo del veicolo all'acquisto restando a carico dei privati;
- la bonifica: sono individuate norme severe per gli impianti autorizzati per la raccolta dei materiali nocivi e impone alle case costruttrici di indicare con chiarezza i materiali impiegati nella costruzione e di allegare ogni informazione necessaria a facilitare il lavoro di selezione dei materiali dei demolitori; inoltre, già a partire dal luglio del 2002, è proibito l'impiego del piombo, del cadmio, del mercurio e del cromo esavalente nella costruzione dei nuovi veicoli;
- i requisiti: gli impianti di smaltimento devono possedere requisiti ambientali e tecnologici che garantiscano la correttezza dei processi di selezione dei materiali per il reimpiego e il riciclaggio;
- i produttori dei veicoli: i costruttori saranno obbligati a progettare le vetture in funzione del recupero dei materiali alla fine del ciclo di vita (*Design for Recycling*)

e a limitare l'impiego nella costruzione del veicolo di sostanze pericolose. Tutti gli operatori economici (produttori, distributori, demolitori, riciclatori) dovranno istituire sistemi di raccolta dei mezzi a fine vita ma i costi di quest'ultima operazione ricadranno solamente sui primi. Per fornire informazioni chiare per i demolitori, la Direttiva invita i produttori a adottare norme comuni di codifica dei materiali impiegati nella costruzione dei veicoli e impone che i produttori forniscano informazioni per la demolizione per ogni tipo di nuovo veicolo immesso sul mercato entro sei mesi dalla sua immissione sul mercato, indicando i diversi componenti e materiali e l'ubicazione di tutte le sostanze pericolose nel veicolo;

- i demolitori: sono previste forme di difesa della libera concorrenza, soprattutto per tutelare la piccola e media impresa che, dati i crescenti investimenti imposti dalla riforma, rischiano di essere rese poco competitive dall'ingresso di nuovi soggetti, legati alle stesse case costruttrici. I proprietari del veicolo devono da parte loro garantire la gestione corretta dei veicoli sotto il profilo del rispetto ambientale, in base al principio "*polluter pays*".

2.2 La stima dei danni da traffico

La valutazione in termini monetari dei danni connessi al fenomeno del traffico è, generalmente, indirizzata alla determinazione dei costi esterni ad esso attribuibili. In quest'ottica, essa è uno strumento innovativo che si inserisce e completa altre forme di valutazione dell'impatto ambientale, come VIA o VAS, in quanto consente di rapportare ad un'unica unità di misura aspetti economici, sociali ed ambientali molto differenti tra loro, mutevoli e difficilmente confrontabili in modo organico. Nello specifico ambito del trasporto, la valutazione dei costi esterni consente di ottenere la base informativa necessaria per l'applicazione del principio in base al quale l'utente del sistema di trasporto deve provvedere alla copertura dei costi generati dall'utilizzo di mezzi ed infrastrutture, contribuendo alla determinazione delle migliori politiche per la mobilità sostenibile.

Poiché risulta difficile determinare in maniera univoca i prezzi di mercato dei beni e delle ambientali, sono spesso state utilizzate metodologie tipiche di altre tecniche di indagine, come l'Analisi Costi-Benefici. Tra queste le più utilizzate sono:

- **il metodo dei valori di mercato** correla i beni ambientali, o sociali, ai prezzi del mercato di appartenenza oppure, in mancanza di esso, ad un mercato analogo e valuta pertanto i beni sulla base delle regole del mercato individuato;
- **il metodo dei prezzi edonici** sfrutta gli effetti che la modificazione di alcune variabili ambientali hanno su un determinato mercato ed quantifica questi effetti sulla base dell'andamento del mercato considerato;
- **il metodo della valutazione contingente** individua indicatori monetari (WTP o WTA) che valutano le preferenze della società, nell'ottica che il guadagno derivante dall'attuazione di una politica di salvaguardia ambientale sia maggiore del costo della risorsa ambientale, in quanto scarsa;
- **il metodo dei costi di tutela** stima il valore del danno prodotto su un bene ambientale considerando i costi degli interventi di tutela dello stesso.

2.2.1 Quantificazione dei danni da inquinamento atmosferico

Per la stessa natura del fenomeno studiato, il traffico, lo studio dei danni causati dall'inquinamento atmosferico è generalmente suddiviso nello studio degli inquinanti aerodispersi e in quello dei GHG.

Nel primo caso le sostanze inquinanti sono principalmente CO, SO₂, particolato sospeso, IPA, Benzene, NO, cui si aggiungono gli inquinanti secondari come O₃ e NO₂. Queste sostanze non sono considerate causa immediata di decesso ma un fattore esterno che può causare o favorire una morte prematura. In questo senso, una valutazione del danno da esse cagionato deve considerare la stima degli anni di vita persi (YOLL, *Years Of Life Lost*) e la loro valutazione economica (VOLY, *Value Of Life Year Lost*), differenziando lo studio in base all'intensità del danno e ai suoi effetti a breve (mortalità acuta) o lungo (mortalità cronica) termine.

Nel secondo caso le sostanze considerate sono CO₂, CH₄ e N₂O. Per la valutazione dei danni causati da questi gas, si ricorre a parametri pesati in funzione del reddito pro-capite, in quanto è ormai opinione comune che le emissioni di anidride

carbonica e degli altri gas climalternati siano correlate al grado di sviluppo economico dei paesi. In alternativa, sono state proposte metodologie che si avvalgono dello studio dei costi di prevenzione, ovvero che considerano la spesa necessaria per attuare le misure per raggiungere gli obiettivi di riduzione delle emissioni. Lo svantaggio di quest'ultimo metodo è che esso è fortemente sensibile ai livelli di abbattimento delle emissioni relativi al paese considerato.

2.2.2 Quantificazione dei danni da inquinamento acustico

Gli effetti dell'inquinamento acustico sull'uomo sono generalmente distinti in due tipologie:

- **effetti fisiologici** come alterazioni della frequenza cardiaca o patologie dell'apparato gastro-intestinale;
- **effetti psicologici** come disturbi del sonno, perdita di concentrazione, senso di fastidio.

Le tecniche maggiormente utilizzate per la valutazione monetaria del danno da rumore sono la valutazione contingente, che tenta di determinare la percentuale di reddito pro-capite che la popolazione soggetta al fenomeno è disposta a pagare per la diminuzione di un dB(A) oltre la soglia di disturbo, e la valutazione tramite i prezzi edonici che utilizza la diminuzione del valore delle abitazioni dovuta all'eccesso di rumore.

2.2.3 Quantificazione dei danni dovuti alla congestione stradale

Il fenomeno della congestione stradale provoca diversi effetti tra cui l'aumento dei tempi di percorrenza è il più evidente. Significativi risultano, però, anche i costi operativi e l'aumento del rischio di incidenti. Gli studi sono stati, generalmente, diretti alla valutazione del valore monetario legato al tempo perso in quanto gli altri fattori risultano assai più complessi da considerare.

In ogni caso, gli aspetti da considerare sono molti e hanno portato alla differenziazione tra costi connessi a spostamenti per motivi di piacere e costi connessi a spostamenti per motivi di lavoro.

2.2.4 Quantificazione dei danni dovuti agli incidenti

Lo strumento più indicato per la valutazione dei costi connessi agli incidenti stradali è la valutazione contingente, che determina quanto ciascuna persona è disposta a pagare per evitare i danni legati ad un incidente (danni che non sono esclusivamente materiali ma, per la stessa natura della metodologia utilizzata, anche psicologici come la sofferenza o il disagio).

Alle valutazioni derivanti dall'utilizzo di questa metodologia è necessario associare anche i costi derivanti dalla mancata o limitata attività ed i costi sostenuti dal SSN.

2.2.5 Il nostro approccio

L'approccio utilizzato nel presente studio è sensibilmente differente da quelli fin qui evidenziati. Ciò è sostanzialmente dovuto al differente obiettivo cui si vuole giungere: le metodologie sopra esposte hanno lo scopo di valutare i costi esterni, ovvero quei costi correlati ad un'attività che ricadono non solo su di essa ma anche sulla collettività. Il nostro studio tende a considerare e valutare il sistema economico nel suo complesso. Sono stati introdotti parametri di costo non direttamente collegati alle esternalità da essi generate: per esempio, è stato valutato il costo complessivo di 1 litro di carburante e non esclusivamente la quota parte legata ai suoi effetti ambientali.

La metodologia ha, quindi, la possibilità di stimare, conformemente alle ipotesi e ai parametri introdotti, la spesa complessiva diretta ed indiretta sostenuta dal sistema nell'arco della giornata ma non consente, in senso assoluto, di discriminare tra costi internalizzati ed esternalità: per esempio lo studio individua il costo complessivo sostenuto per l'assicurazione RC ma non consente di specificare quanta parte di essa copra le esternalità dovute agli incidenti.

In conseguenza di queste considerazioni è importante segnalare come i parametri individuati in letteratura e quelli utilizzati nel presente documento possano differire in misura sostanziale in conseguenza degli approcci differenti utilizzati e degli aspetti impliciti che ne derivano.

2.3 Politiche di intervento

Nel presente capitolo saranno introdotte le principali politiche di intervento a disposizione delle amministrazioni pubbliche per il governo della mobilità urbana.

La loro natura è, spesso, assai diversa così come la filosofia di fondo che le ispira: sono indicati interventi che si rifanno al concetto del “*command & control*” ed altri che sfruttano la sensibilità e la pro-attività degli utenti della strada.

Sono individuati strumenti di pianificazione che influenzano più o meno direttamente la struttura stessa della realtà cittadina, prevedendo le direttrici di sviluppo ed assecondandole, pur con un’attenta gestione delle stesse. I risultati di queste politiche sono spesso contrastanti con quelli previsti anche per l’uso spesso eccessivo o poco oculato che ne viene fatto.

Benché non possano essere efficacemente descritte nella caratterizzazione delle ipotesi alternative fatte nel capitolo 4 del presente studio, ne rappresentano la base concettuale di partenza e gli strumenti di realizzazione più adatti, se integrati e gestiti in modo corretto.

2.3.1 Strumenti di pianificazione locale

In questo ambito possono essere inserite iniziative spesso assai diverse le cui finalità non sono esclusivamente legate al settore dei trasporti ma riguardano la pianificazione complessiva dell’area urbana. Oltre ai piani di limitazione della circolazione, alla decentralizzazione e alla creazione di distretti autosufficienti trattate separatamente, possono essere individuati anche i PUT (Piani Urbani del Traffico), i PUM (Piani Urbani della Mobilità) e i Piani Tempi e Orari (PTO).

I PUT sono configurati come un insieme coordinato di interventi per il miglioramento delle condizioni della circolazione stradale nell’area urbana, dei pedoni, dei mezzi pubblici e dei veicoli privati: la loro finalità è quella di contenere al massimo, tramite interventi di modesto onere economico, le criticità della circolazione, in una logica di complementarietà con il Piano dei Trasporti.

I PUM sono strumenti di programmazione a medio-lungo termine, attraverso cui è possibile pianificare programmi integrati di realizzazione di infrastrutture di

trasporto pubblico, parcheggi, viabilità, applicazione di tecnologie innovative o altre politiche, attingendo a finanziamenti non più per singole opere, ma per obiettivi. Rispetto ai PUT si caratterizzano per una maggior flessibilità in quanto, individuando le linee fondamentali di sviluppo del sistema, sono soggetti a verifiche periodiche, generalmente annuali, da parte delle amministrazioni preposte.

I PTO hanno il compito di riorganizzare il sistema degli orari cittadini assegnando a ciascuna categoria di soggetti delle finestre temporali all'interno delle quali avviare e concludere le attività giornaliere. Benchè questo tipo di interventi possa rappresentare un reale beneficio per gli utenti della città, è stato evidenziato come agire sugli orari dei servizi pubblici significhi influire sulle relazioni fra individui, sulla mobilità delle persone e, in generale, sulla possibilità reale di godere della città intesa come patrimonio collettivo e bene comune.

2.3.2 Piani di limitazioni della circolazione

I Piani di Limitazione della Circolazione derivano da un decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio (n° 60 del 2 Aprile 2002), che prescrive per i comuni con più di 150 mila abitanti di individuare le misure per il contenimento dell'inquinamento in presenza o nel rischio di superamento dei valori limite prescritti.

Si articolano in base agli inquinanti di cui è effettuato un monitoraggio costante (CO, NO₂, Benzene, PM₁₀ e IPA) e descrive dettagliatamente:

- i livelli di attenzione;
- le zone soggette a divieto;
- gli orari in cui saranno attive le limitazioni;
- i veicoli cui sarà interdetta la circolazione e quelli che potranno viaggiare.

Il principale svantaggio di questo tipo di interventi risiede nel fatto che sono palliativi per una situazione degenerata e non influenzano nel complesso il sistema, perché non contemplano strumenti di modificazione delle abitudini degli utenti. Per sopperire a tali inconvenienti, in alcune realtà, le limitazioni sono accompagnate da campagne di sensibilizzazione al problema dell'inquinamento atmosferico o alla

promozione dei mezzi pubblici, grazie ad incentivi i prezzi sono scontati nei giorni di blocco.

È importante sottolineare, comunque, come le limitazioni alla circolazione abbiano rappresentato, e rappresentino tuttora, lo strumento privilegiato per la gestione delle problematiche legate al traffico e alla mobilità.

2.3.3 Decentralizzazione e distretti autosufficienti

Il sistema dei trasporti commerciali rappresenta un settore di notevole impatto sulla mobilità cittadina, ancor più evidente in realtà, come quelle italiane, costituite da agglomerati d'antica fondazione con una struttura viaria non concepita per far fronte alla moderna distribuzione.

Per ovviare a questa problematica è stato introdotto il concetto di “distribuzione cittadina” che si caratterizza nella decentralizzazione dei punti d'interscambio e nell'utilizzo di veicoli di trasporto più piccoli e maneggevoli, adatti quindi ad un utilizzo in città.

Sono state concepite due modalità diverse per l'attuazione di questo sistema: la prima prevede la creazione di parcheggi specifici per i mezzi pesanti, presso cui giungono anche i clienti destinatari delle merci trasportate, e vengono forniti i macchinari ed il personale per il trasbordo dei carichi dai veicoli più grandi a quelli più piccoli; la seconda prevede l'utilizzo delle infrastrutture logistiche di società terze, che gestiscono lo stoccaggio temporaneo delle merci e le consegne in città.

Le principali critiche a questo tipo di politica consistono nell'aumento dei costi connesso all'utilizzo di terzi per la propria logistica e l'aumento di veicoli circolanti nelle città per le consegne. Parimenti, i principali vantaggi sono connessi all'assenza di veicoli pesanti all'interno del sistema viario cittadino e alla necessità di minori superfici di stoccaggio per le attività commerciali urbane.

Una seconda forma di decentralizzazione riguarda la creazione di aree destinate a specifici utilizzi: aree commerciali, industriali e residenziali. Questo approccio allo sviluppo delle città presenta numerosi vantaggi come la maggior facilità di accesso alle zone industriali, la minimizzazione dei trasporti a seguito dell'aggregazione delle attività ed un ridotto utilizzo del trasporto urbano. I principali svantaggi sono

rappresentati dalla presenza di un notevole flusso pendolare e dalla forte congestione connessa alla presenza di numerose attività in uno stesso luogo.

Un approccio alternativo a questo tipo di politica è la creazione di distretti autosufficienti di medie e piccole dimensioni con zone residenziali, commerciali ed industriali, collegati tra loro da vie di accesso a rapido scorrimento. I maggiori vantaggi riguardano la diminuzione delle distanze soggette a pendolarismo e la maggior facilità di distribuzione delle merci. Lo svantaggio principale consiste nella necessità di progettare gli insediamenti *ex novo*, cosa che rende questo approccio poco adatto alla realtà di aree economicamente sviluppate.

2.3.4 Mobility Management

Il *Mobility Management* ha lo scopo di rendere più efficiente l'uso dei mezzi di trasporto già presenti e di minimizzare il numero di viaggi verso i punti di generazione di traffico, come scuole, uffici, ospedali o zone commerciali, grazie all'utilizzo di strumenti organizzativi, informativi e di sensibilizzazione nei confronti degli utenti alcune volte già esistenti, altre da creare.

Include strategie volte ad una miglior informazione del pubblico nei confronti di soluzioni di trasporto sostenibile, migliorando o implementando sistemi di trasporto collettivi per specifiche categorie di utenti (ad esempio i dipendenti di una stessa azienda), sistemi di coordinamento per il *car pooling* in ambiti aziendali e campagne di sensibilizzazione.

La sua principale peculiarità consiste nell'interazione tra "azienda" e "dipendenti" volta all'individuazione congiunta tanto delle problematiche (assenza di collegamenti tramite mezzi pubblici, insufficienza di mezzi, orari non rispondenti alle necessità operative dei dipendenti) quanto delle soluzioni (*car pooling*, linee auto-filo-tramviarie dedicate), con l'instaurarsi, spesso, di un dialogo proficuo e costruttivo anche al di là delle pure necessità contingenti. La stessa azienda ne trae, spesso, vantaggi sotto il profilo dell'organizzazione interna e dell'immagine tanto verso i propri dipendenti quanto anche verso il pubblico, soprattutto per gli aspetti ambientali che una simile politica comporta.

Un fattore fondamentale per il buon esito di politiche di *mobility management* è la collaborazione stretta tra “azienda” ed istituzioni pubbliche. In Italia l’ente incaricato di coordinare le iniziative di *mobility management* è la Provincia: essa contribuisce, spesso, alla redazione dei piani programmatici di spostamento dei dipendenti, attua un collegamento tra i soggetti gestori dei sistemi di trasporto ed eroga gli eventuali incentivi, destinati sia alle aziende che ai dipendenti, come riduzioni tariffarie o agevolazioni per l’acquisto di mezzi di trasporto maggiormente sostenibili.

Esistono, però, alcuni ostacoli che limitano l’utilizzo diffuso di questi strumenti: essi possono essere di natura organizzativa, per esempio nel caso di turni di lavoro differenziati, normativa, per esempio i problemi legati all’assicurazione RCA nel caso di utilizzo congiunto del mezzo da parte di più persone, fiscali, per esempio l’assenza di incentivi per coloro che mettano a disposizione il proprio mezzo, sociale, per esempio la gratificazione più o meno evidente nell’utilizzo della propria vettura o la diffidenza nei confronti del prossimo.

2.3.5 *Car Pooling*

Secondo il Ministero dei Trasporti Olandese il *Car Pooling* è la condivisione continuativa di un’automobile o di un minibus e il cui utilizzo è effettuato da un numero variabile di persone, minimo due, ed è inteso per i trasferimenti da e per il lavoro o per altri tragitti, comunque noti *a priori*.

Il principale aspetto di innovazione consiste nel fatto che ogni singolo *car-pooler* (ovvero tutti coloro che effettuano il viaggio insieme), in alternativa a tale sistema, utilizzerebbe il proprio veicolo per recarsi dove deve andare.

Emerge, pertanto, il fondamentale vantaggio di questa modalità di trasporto: la riduzione sostanziale del numero di veicoli circolanti. Esistono, però, anche altri vantaggi più o meno evidenti connessi alla possibilità di dividere i costi di gestione e manutenzione, o anche solo del carburante, alla possibilità di instaurare rapporti sociali altrimenti impossibili o assai più difficili con uno scenario di utilizzo del proprio mezzo da parte di ciascun *car-pooler*.

I principali svantaggi di un tale sistema risiede nella necessaria dipendenza dei singoli dal tragitto effettuato, dall'impossibilità di utilizzare il veicolo per altri spostamenti e dalla necessità di possedere lo stesso orario per tutti gli utenti.

Il *Car Pooling* è nato negli Stati Uniti ed ha riportato un discreto successo anche perché sostenuto dalle stesse aziende. Esistono, infatti, realtà che incentivano l'utilizzo di tale sistema, concedendo ad esempio parcheggi privilegiati in prossimità di punti strategici, come in vicinanza degli ingressi agli uffici, soprattutto in realtà caratterizzate da un numero di dipendenti molto elevato con la conseguente presenza di parcheggi molto vasti. Un'altro strumento utilizzato è la messa a disposizione dei dipendenti di un'infrastruttura telematica, una specie di bacheca elettronica, che consente di offrire o richiedere un passaggio: il sistema automaticamente associa offerte e richieste per agevolare entrambe le parti.

Il *Car Pooling* è un sistema abbastanza diffuso nei paesi anglosassoni, assai meno nei paesi dell'area del Mediterraneo: il principale motivo di questa situazione è la mancanza di informazione del pubblico. Essendo rivolto principalmente alle realtà aziendali, infatti, sono spesso proprio esse che attuano campagne di sensibilizzazione e propongono ai dipendenti questa modalità di trasporto. Essa risulta, quindi, parte integrante di un sistema più ampio di *Mobility Management*.

2.3.6 *Car Sharing*

IL principio su cui si basa il *Car Sharing* è quello di utilizzare una vettura senza possederla. Il principale vantaggio è di tipo economico in quanto l'utente non è soggetto agli oneri fiscali e legali connessi alla proprietà.

Le persone interessate al servizio aderiscono pagando una quota associativa e pagano per l'uso del mezzo, sulla base dei chilometri percorsi e delle ore di utilizzo con tariffe differenziate per tipologia di veicolo orario prenotato.

Per la gestione del sistema di *Car Sharing* viene creata un'organizzazione, generalmente di tipo pubblico, che ha il compito di coordinare le richieste degli utenti, di provvedere alla manutenzione dei mezzi e di promuovere il servizio.

L'utilizzo di un sistema di *Car Sharing* prevede alcune agevolazioni, altrimenti non consentite a chi utilizza il proprio mezzo:

- accesso alle zone a traffico limitato;
- utilizzo delle corsie preferenziali;
- assenza di costi di parcheggio.

I vantaggi per l'utente sono, pertanto, elevati e di diversa natura: la sensibile riduzione dei costi di manutenzione e gestione dei veicoli; le agevolazioni al transito; l'utilizzo anche in periodi di limitazione generalizzata del traffico (in quanto, spesso, i veicoli utilizzati sono di tipo ecologico: a metano o elettrici).

Gli svantaggi riguardano principalmente la necessità d'iscrizione ad un'associazione o ad una organizzazione spesso legata al territorio di appartenenza; il costo elevato per un uso intensivo; la necessità di prenotazione anticipata e la dipendenza dalla disponibilità dei mezzi.

Per risolvere il primo problema, in Italia, è sorta un'associazione tra le diverse realtà presenti in alcune città che consente l'utilizzo del sistema in tutte le realtà aderenti, effettuano un'unica iscrizione.

2.3.7 *Road pricing*

Il *road pricing*, ovvero l'attribuzione di una tariffa che l'utente della strada è tenuto a pagare lo sfruttamento della struttura, rappresenta la principale politica di intervento per l'internalizzazione delle esternalità dovute al trasporto.

Una delle componenti principali per la determinazione del costo del "bene trasporto" è rappresentata dal tempo: in questo senso l'esternalità maggiormente percepita dall'utente è la congestione stradale in quanto essa agisce in modo da limitare il consumo di trasporto.

Essa è caratterizzata da alcuni fattori importanti:

- l'utente tende a percepire esclusivamente la propria perdita di tempo e non quella derivante dalla sua presenza nel sistema;
- i suoi effetti sono tanto più marcati quanto più l'utente attribuisce valore al proprio tempo;
- non consente di discriminare i comportamenti più efficienti per il sistema (tanto l'automobilista quanto l'utilizzatore dell'autobus saranno penalizzati da una strada congestionata);

Il meccanismo del *road pricing* sfrutta le regole di mercato per ripristinare l'efficienza del sistema prelevando risorse finanziarie per sopperire alle inefficienze dei sistemi di riequilibrio interni al sistema stesso.

Per attuare una politica di questo tipo, è necessario tenere in considerazione alcune problematiche di natura spesso molto diversa. Innanzitutto la scelta tariffaria deve rispecchiare in modo quanto più possibile corretto le effettive esternalità generate dal sistema. Esse sono dipendenti da fattori quali il luogo (centro, periferia, campagna), il tempo (ore di punta, ore di morbida), i mezzi di trasporto (veicoli a benzina, diesel, elettrici). Questo comporta la necessità di individuare meccanismi trasparenti per la determinazione delle tariffe per rendere evidente il legame tra tariffe applicate ed esternalità. La presenza, inoltre, di meccanismi di *road pricing* spinge gli utenti ad utilizzare percorsi alternativi con conseguente trasferimento delle problematiche senza una effettiva risoluzione delle stesse: a questo riguardo è, quindi, necessario individuare sistemi di tariffazione ampi ed articolati che tendono ad aumentare i costi di gestione di un meccanismo di questo tipo. Infine, poiché trattasi di trasferimento di risorse economiche, è importante valutarne l'equità distributiva sia per quanto attiene l'utilizzo dei fondi ricavati per la compensazione ai danneggiati sia per quanto attiene la disponibilità a pagare degli utenti, con la possibilità di creare fenomeni discriminativi verso coloro che presentano un reddito più basso.

2.3.8 *Eco-Incentivi*

Gli eco-incentivi rappresentano misure, generalmente di natura fiscale, volti a contribuire alla creazione di un mercato per iniziative o strumenti con finalità ambientali. In questo ambito possono essere contemplati gli incentivi alla sostituzione di veicoli maggiormente inquinanti con altri più ecologici (i cosiddetti incentivi alla rottamazione), quelli per l'installazione di sistemi di propulsione a basso impatto ambientale (metano o gpl), quelli per iniziative di tipo imprenditoriale o volte a favorire l'attuazione di misure alternative al trasporto privato (*mobility management*, *car pooling* o *car sharing*).

Il principale vantaggio di questi strumenti risiede nel fatto di essere non coercitivi, in quanto è facoltà del singolo attuare le misure che beneficiano degli incentivi e rappresentano un sostanziale cambiamento di filosofia nei confronti delle politiche di intervento per l'ambiente con l'abbandono della filosofia del “*command & control*”. Altri vantaggi risiedono nella capacità di agevolare la creazione di un mercato per quelle tecnologie che, per la loro innovatività, hanno un costo ancora troppo elevato per poter essere facilmente assorbite dagli utenti.

Il loro principale vantaggio rappresenta, però, anche il loro limite più evidente in quanto, non rappresentando un obbligo da rispettare, la loro attuazione è spesso legata alla sensibilità del singolo; pertanto il loro successo è soggetto, spesso, a considerazioni più culturali che tecniche o tecnologiche.

Inoltre, per quanto concerne gli incentivi alla sostituzione dei veicoli, gli eco-incentivi hanno l'effetto di ridurre l'impatto ambientale dei mezzi ma non modificano, anzi possono acuire, le problematiche relative alla congestione stradale, in quanto è prevedibile che l'acquisto di un nuovo veicolo comporti anche un maggior sfruttamento dello stesso.

Sono, pertanto, strumenti incompleti che devono essere affiancati ad altre politiche per poter esprimere in toto le loro potenzialità. In questo senso possono essere utili azioni di sensibilizzazione e di informazione al pubblico.

2.3.9 La gestione dell'incidentalità in ambito urbano

L'incidentalità stradale in ambito urbano è un argomento la cui importanza trascende le specifiche competenze delle amministrazioni locali per divenire un problema che necessita di politiche di intervento a tutti i livelli dello Stato. La stessa Commissione Europea, nel Libro Bianco sulle politiche di trasporto, indica come prioritario l'obiettivo di riduzione dei incidenti stradali in ambito urbano del 50% entro il 2010.

Nonostante nel presente studio si assuma una correlazione lineare tra incidenti stradali e veicoli circolanti, le politiche di gestione degli incidenti rappresentano un aspetto considerevole degli interventi sulla mobilità di competenza degli enti locali.

È opinione comune che il numero di morti e feriti dipenda, oltre che da cause dirette come le violazioni del codice della strada o il comportamento e lo stato psicofisico del conducente, anche per esempio da aspetti socio-educativi, dal flusso del traffico, dalle caratteristiche della sede stradale, dalla manutenzione del veicolo, dalla tempestività e dalla qualità dei servizi di soccorso e dalla presenza e utilizzo dei sistemi di sicurezza passiva.

A livello nazionale (“Piano Nazionale per la Sicurezza Stradale”) è stata individuata come assolutamente prioritaria la necessità di una base informativa oggettiva, rapidamente consultabile ed aggiornabile per consentire una migliore valutazione del fenomeno dell’incidentalità. È stato demandato, pertanto, alle amministrazioni locali la creazione di “osservatori sulla sicurezza stradale”, il cui compito consiste appunto nella raccolta di ogni tipo di informazione utile alla gestione degli incidenti, non ultima la georeferenziazione, la cui utilità è legata principalmente al coordinamento degli interventi sulle strade, come la manutenzione o le modifiche infrastrutturali.

Oltre a ciò, le amministrazioni locali sono chiamate al controllo delle infrazioni, soprattutto per quanto concerne comportamenti difformi da quanto previsto dal codice della strada, come l’alta velocità o l’adozione di sistemi di sicurezza passiva (principalmente le cinture di sicurezza).

Un ulteriore intervento, considerato prioritario nel già citato Piano Nazionale per la Sicurezza Stradale, è rappresentato dall’informazione al pubblico e dalle campagne di sensibilizzazione tanto sugli aspetti della sicurezza stradale quanto anche sulla manutenzione dei veicoli, condizione indispensabile per contenere sensibilmente gli incidenti.

2.4 Innovazione tecnologica

Nel presente capitolo saranno introdotte le principali innovazioni tecnologiche che possono contribuire alla sensibile riduzione delle problematiche relative all'inquinamento atmosferico derivante dal settore della mobilità urbana.

Alcune delle tecnologie proposte sono già disponibili sul mercato e sono ampiamente utilizzate anche nella realtà oggetto del presente studio. In particolare l'utilizzo del GECAM è esteso al 100% dei mezzi pubblici circolanti nel territorio analizzato e il metano ed il GPL rappresentano componenti sensibili del parco veicolare cittadino.

L'iniezione diretta per i motocicli e l'utilizzo di energia elettrica per il movimento del veicolo sono, invece, attualmente poco utilizzate anche se la loro presenza sul mercato dimostra la maturità, anche economica, delle stesse. Esse sono state, pertanto, utilizzate nella fase di caratterizzazione del sistema alternativo di trasporto, proposto nel capitolo 4.

2.4.1 Gecam

Il Gecam è un combustibile di recente ideazione costituito da un'emulsione di gasolio (88%), acqua demineralizzata (10.3%) e un mix di additivi (1.7%), che ne determina la stabilità nel tempo.

Le proprietà del Gecam derivano in primo luogo dalla presenza d'acqua nella miscela che consente di ridurre mediamente del 40% il particolato, sia quello di dimensioni inferiori 1 μ m (microparticolato) che, trattenuto dagli alveoli polmonari, interagisce con i sistemi biologici provocando asma, tumori, sia quello carbonioso (soot) con riduzioni fino al 70%. Inoltre, il miglioramento della combustione comporta una riduzione media del 10% degli NO_x, a seguito delle minori temperature, ed una diminuzione dei consumi specifici di idrocarburi, con un abbattimento delle emissioni di CO₂ del 5/7%.

Per le sue caratteristiche può essere impiegato in sostituzione del gasolio tradizionale senza alcun tipo di modifica tecnica al motore ed il suo costo, anche a

seguito della presenza di una riduzione del carico fiscale introdotta con la legge Finanziaria 2000, è competitivo con i tradizionali carburanti.

In Italia, oltre 70 città hanno scelto questo carburante in sostituzione parziale o totale del gasolio tradizionale per la trazione dei veicoli utilizzati per il trasporto pubblico o l'igiene urbana, per un totale di oltre 8.500 mezzi. Altri Paesi europei, come la Svizzera e la Francia, hanno intrapreso campagne per la diffusione e l'utilizzo delle emulsioni, in generale, e del Gecam, in particolare, come alternative ai carburanti tradizionali.

Come descritto meglio nel capitolo di caratterizzazione del trasporto pubblico, il Comune di Padova ha adottato questo carburante nel 100% dei propri mezzi di trasporto.

2.4.2 Biodiesel

Il Biodiesel è un gasolio derivante da prodotti agricoli; in particolare è prodotto con olio di colza e di girasole, perciò biodegradabile e sicuro. Permette di ridurre le emissioni inquinanti nell'atmosfera: in particolare la mancanza di zolfo permette la graduale eliminazione di questa sostanza quale principale causa della formazione di piogge acide. Un altro aspetto importante dal punto di vista ecologico è la quantità di anidride carbonica che il Biodiesel rilascia durante la combustione, che è esattamente quella assorbita dalle piante durante la loro crescita e ciò offre la possibilità di evitarne l'accumulo.

L'uso del Biodiesel non crea nessuna condizione negativa per il funzionamento e l'usura dei motori, le prestazioni risultano essere del tutto assimilabili a quelle ottenute con gasolio tradizionale (i consumi rientrano in quelli previsti dalle case di costruzione), consentendo resa ed affidabilità. Il confronto delle prestazioni con gasolio minerale a pieno carico del motore al banco, indica una riduzione della fumosità a seguito delle assenze di composti aromatici. L'assenza di ossido di zolfo permette una maggiore efficienza della marmitta catalitiche, ottenendo una sensibile riduzione dell'emissione di idrocarburi incombusti. Il Biodiesel ha un punto di evaporazione molto più alto di quello del gasolio minerale e va ad aumentare il volume dell'olio lubrificante mantenendolo costante per chilometraggi più elevati

con riduzione dei consumi, mentre le ceneri ed il punto di infiammabilità rimangono pressoché inalterati.

Per le sue caratteristiche il Biodiesel è ormai utilizzato nei motori di autobus, trattori, camion e impianti di riscaldamento. Inoltre, molte amministrazioni comunali e aziende di trasporti utilizzano questo prodotto per ridurre le emissioni inquinanti.

La competitività economica del Biodiesel è legata all'assenza di tasse che gravano sulla vendita e da sovvenzioni: ciò rappresenta una delle critiche più forti di chi sostiene la bassa economicità di tale carburante. Inoltre, esso presenta due difetti che ne limitano fortemente l'utilizzo:

- le emissioni dei motori alimentati a Biodiesel sono meno inquinanti di quelle del gasolio in quanto a SO₂, ma sono altrettanto inquinanti per CO e NO_x e molto più inquinanti per formaldeide e acroleina;
- l'impiego di sostanze naturali rinnovabili, in particolare semi di piante oleaginose, quali materia prima per combustibile per motori diesel, è contrastato sia a livello europeo sia a livello locale per ragioni tecniche ed economiche. La coltivazione di tali piante, infatti, a scopo energetico necessita di estensioni rilevanti di terreno fertile e contrasta con la logica di sostenibilità, in particolare per quanto concerne l'alimentazione umana e l'allevamento di bestiame.

2.4.3 Metano e GPL

Il Metano è un carburante che, a differenza delle benzine e del gasolio, non si ottiene attraverso complicati processi di raffinazione. Fin dall'origine è pronto all'uso come carburante ecologico. Un altro notevole vantaggio è quello che deriva dal trasporto che, rispetto agli altri combustibili, presenta una praticità ed economicità notevole in quanto dopo la spesa iniziale dell'attuazione di reti di gasdotti, la distribuzione ha dei bassissimi costi.

Il metano possiede caratteristiche intrinseche che lo rendono adatto all'impiego motoristico, senza necessità di aggiunta di additivi nocivi per la salute umana, ed un contenuto energetico maggiore rispetto a tutti gli altri tipi di carburanti, in particolare il suo elevato potere antidetonante, superiore a 120 ottani, ne consente

l'utilizzo in ciclo Otto ad elevato rapporto di compressione con consistente miglioramento del rendimento e riduzione dei consumi.

Per trasformare un veicolo a gas sono predisposti kit completi che officine specializzate installano unitamente ai serbatoi. L'autonomia è variabile in funzione dalla capacità del serbatoio, mediamente pari a 300 km. In caso di necessità, esaurito il carburante, automaticamente il veicolo passa all'alimentazione a benzina.

Il GPL, in quanto prodotto di recupero, non richiede energia di produzione, non genera inquinamenti industriali ed ha un costo di produzione molto basso.

A differenza di benzine e gasolio, le cui operazioni di travaso e di rifornimento liberano nell'ambiente, sotto forma di vapori, quantità tutt'altro che trascurabili di carburante liquido che vanno ad aggiungersi agli idrocarburi incombusti prodotti nella fase di scarico dai veicoli che utilizzano questi carburanti, il GPL, come il metano, non dà luogo ad alcuna emissione per evaporazione di inquinanti, pertanto una buona diffusione del GPL come carburante darebbe localmente il vantaggio di ridurre gli inquinanti e le concentrazioni delle sostanze nocive, soprattutto in aree urbane.

I vantaggi economici dell'utilizzo del gas (metano o propano) come carburante sono legati a tre aspetti principali:

- a parità di km percorsi, GPL e metano permettono di risparmiare rispettivamente fino al 50% e fino al 70% rispetto alla benzina;
- minori spese di manutenzione del motore e dei suoi componenti, in quanto l'olio del motore e le candele necessitano di sostituzioni meno frequenti. Il motore stesso, inoltre, vive più a lungo grazie all'alto potere antidetonante e alla conseguente eliminazione del cosiddetto "battito in testa";
- possibilità di usufruire di ecoincentivi, che contribuiscono a ridurre i costi di installazione ed agevolano l'ammortamento degli stessi.

Le modalità di impiego del gas naturale nei trasporti dipendono dalle caratteristiche che lo fanno ritenere vantaggioso, come il basso costo ed il basso impatto ambientale, e da quelle che invece mostrano i suoi limiti, come la limitata autonomia dei veicoli e la carenza della rete distributiva a livello nazionale. Questi vincoli

limitano alle zone più servite la mobilità a lungo raggio mentre la sintesi ottimale si può realizzare nei centri urbani.

Poiché i mezzi di trasporto pubblici effettuano percorsi ripetitivi, accumulano grosse percorrenze annuali e grossi consumi, operano nelle aree a maggiore concentrazione di traffico e nelle zone centrali dove il problema ambientale è più avvertito, causando, quindi, un notevole impatto ambientale a livello locale, il punto di partenza della campagna di metanizzazione dei mezzi di trasporto è generalmente costituito da questi veicoli.

2.4.4 Iniezione diretta per i motocicli

I motori a due tempi, oggi montati sulla quasi totalità degli scooter 50, hanno caratteristiche positive quali la semplicità di funzionamento, alta potenza specifica, prestazione elevate, peso e dimensioni contenuti, estrema affidabilità e costi di produzione ridotti. Per contro presentano consumi elevati, alte emissioni inquinanti, basso comfort dovuto all'eccessiva emissione di fumi e all'alta rumorosità di funzionamento.

La Aprilia fu la prima azienda a lanciare sul mercato nel 1992 uno scooter due tempi con marmitta catalitica. Nel maggio 2000 la stessa società ha proposto un motore a iniezione diretta elettronica chiamato SR 50 Ditech, entrato già in produzione, che consente una sensibile riduzione dei consumi e delle emissioni inquinanti.

Rispetto ad un motore a due tempi con catalizzatore, il propulsore indicato è in grado di ridurre i consumi di carburante del 40% nel ciclo ECE47 e fino al 50% con velocità costanti e ed i consumi di olio del 60%. Inoltre riduce dell'80% le emissioni inquinanti in quanto è omologato EURO I senza l'uso di un catalizzatore e ne migliora i limiti del 50% riuscendo a rispettare i limiti della EURO II.

2.4.5 Energia elettrica e veicoli ibridi

L'utilizzo di elettricità come vettore di energia per i veicoli a motore è oggetto di studio da diversi decenni ed è emerso come fattore significativo di riduzione delle emissioni inquinanti derivanti dal trasporto stradale. I veicoli elettrici si caratterizzano, infatti, per la totale assenza di emissioni inquinanti *in loco*, in quanto manca completamente qualsiasi tipo di combustione che possa liberare in aria

sostanze nocive per la salute umana. Di converso, la produzione di elettricità non rappresenta un fenomeno *emission-free*, come anche il presente studio dimostrerà nel capitolo 4; pertanto la concezione dell'energia elettrica come "carburante pulito" non è totalmente corretta in quanto non vengono prese in considerazione le emissioni alla fonte, ovvero laddove l'energia è prodotta. La presenza di una sorgente puntiforme di emissione, la centrale, rispetto ad una diffusa, il traffico cittadino, costituisce, comunque, un vantaggio da un punto di vista della gestione ambientale in quanto consente interventi più mirati ed efficienti.

I principali ostacoli all'utilizzo di questa tecnologia risiedono nella bassa autonomia dei veicoli, legata in primo luogo al notevole peso dell'impianto di accumulazione dell'energia, e nell'assenza di una rete distributiva a livello nazionale. Il primo fattore di limitazione è legato all'evoluzione tecnologica e, pertanto, non costituisce un problema in un'ottica di medio periodo; il secondo fatto di limitazione è legato esclusivamente a fattori di mercato che potranno essere risolti anch'essi una volta raggiunta la maturazione tecnica.

Per sopperire a questi limiti sono state realizzate e messe in commercio vetture alimentate tanto ad elettricità quanto ad altri combustibili, generalmente metano e gasolio (veicoli ibridi). I vantaggi di questa accoppiata risiedono nel fatto che i veicoli sfruttano a pieno le caratteristiche della propulsione elettrica, cui subentra la trazione tradizionale in specifici contesti ed in modo totalmente trasparente per l'utente, come all'esaurirsi dell'elettricità o allorché la velocità supera il 25/30 km/h.

I vantaggi dei veicoli ibridi possono essere riassunti in:

- possibilità di utilizzare motori tradizionali di minor cilindrata in accoppiata alla trazione elettrica, con conseguente riduzione delle emissioni specifiche soprattutto in ciclo urbano;
- possibilità di recupero dell'energia dissipata durante le frenate, con risparmi dell'ordine del 20% soprattutto in ambito urbano;
- possibilità di ottimizzare il funzionamento del motore termico per la funzione di sola conversione di energia;

- possibilità di evitare, in tutte le partenze dell'auto, e quindi anche a freddo, il funzionamento in potenza del motore termico, con radicale riduzione delle emissioni.

In alcune realtà locali, l'utilizzo di veicoli elettrici è sufficientemente diffuso soprattutto in ambito pubblico (mezzi degli enti locali, autobus o mezzi per la consegna della corrispondenza); sono, inoltre, diffuse iniziative di incentivazione allo scopo di favorire l'acquisto di mezzi elettrici, auto o ciclomotori, che comprendono, talvolta, anche la realizzazione a spese dell'amministrazione degli impianti di ricarica.

2.5 Il Piano Urbano della Mobilità del Comune di Padova

Il Piano Urbano della Mobilità del Comune di Padova (PUM) rappresenta una delle principali fonti informative per la redazione del presente studio, sia nella caratterizzazione della situazione attuale del sistema dei trasporti cittadini (capitolo 3) sia nella creazione delle ipotesi evolutive e di riorganizzazione proposte al capitolo 4.

Come accennato nel capitolo 2.3.1, il PUM è uno strumento, introdotto dalla legge n° 340 del 24 novembre 2000, per la pianificazione integrata delle infrastrutture di trasporto, della viabilità e del sistema dei trasporti pubblici, che individua le linee di indirizzo attorno alle quali l'amministrazione coordina gli interventi per il governo della mobilità cittadina.

Gli obiettivi dichiarati dall'amministrazione comunale per quanto riguarda il PUM sono:

- sostenere il benessere sociale e la qualità della vita urbana;
- individuare una nuova fisionomia ed identità delle diverse zone della città;
- migliorare l'accessibilità alle funzioni urbane riducendo i livelli di congestione della viabilità.

Per ottenere questi risultati l'amministrazione intende migliorare il sistema dei trasporti pubblici, potenziare o realizzare nuove infrastrutture stradali ritenute indispensabili ed adeguare la dotazione e la regolazione dell'offerta di strutture per la sosta.

La filosofia alla base degli interventi previsti dal Piano è connessa a “[...] *ricercare una soluzione unitaria al problema della mobilità collettiva, nell’idea che la strategia perseguita dal vecchio progetto [...] della specializzazione dei sistemi di trasporto collettivo e della gerarchizzazione spinta della rete [...] mal si adatti alle caratteristiche insediative di Padova, alla sua mobilità contraddistinta da percorsi medio-brevi diffusi, alle condizioni nonché al valore del centro storico da attraversare [...]*”³⁴.

Il Piano individua e propone le tecnologie per “[...] *soddisfare la necessità di una crescita graduale e flessibile del sistema della mobilità collettiva [...]*”³⁵

2.5.1 *Basi informative*

Lo studio analizza, in primo luogo, la domanda di mobilità attuale della città: circa 800 mila viaggi di cui il 74% realizzati con un veicolo privato, il 14% con il sistema dei trasporti pubblici urbano ed il restante 12% con i trasporti extraurbani. L’area centrale della città rappresenta la principale destinazione, richiamano quasi il 25% degli spostamenti quotidiani che interessano il territorio comunale di Padova. In questa area i viaggi per studio sono il 15% del totale, quelli per lavoro il 52% e quelli per motivi vari il 33% residuo.

Tra le fasce di punta (mattina, ora di pranzo e pomeriggio), la prima è quella di maggiore pressione sul sistema della mobilità in quanto, oltre agli spostamenti per motivi di lavoro, si sommano anche quelli per motivi di studio. Nell’arco della fascia oraria che va dalle 7 e 30 alle 8 e 30 si concentra quasi il 25% della mobilità complessiva giornaliera e di questa la maggior parte è realizzata con il mezzo privato (circa il 10% del totale complessivo dei viaggi autonomi). Nella stesso periodo, i viaggi con i mezzi pubblici sono circa 11 mila, rappresentando quasi il 12% del totale giornaliero di questo tipo di viaggi.

La velocità media nell’intera area urbana è stimata in circa 23 km/h ma è un valore indicativo da confrontare con altre realtà in cui tale valore è nettamente più basso: a questo punto di vista Padova appare più percorribile in auto di altre città italiane di

³⁴ Cfr. Settore Mobilità e Traffico, *Piano Urbano della Mobilità– Rapporto Finale – Testo Integrato*, Comune di Padova, Padova, Dicembre, 2001.

³⁵ Cfr. Ibidem.

analoga dimensione, dove la velocità del traffico privato nelle punte è generalmente compresa tra i 15 ed i 20 km/h.

Il sistema del TPL si articola in 21 linee in ambito cittadino per complessivi 7,5 milioni di veicoli-km/anno ed effettua circa 2400 corse sulle linee urbane, in una giornata feriale del periodo invernale. La velocità commerciale è di circa 15 km/h, superiore a quella media di altre città a seguito del fatto che la mobilità privata si presenta in condizioni migliori rispetto ad altre realtà.

Relativamente alla mobilità merci, la struttura delle attività urbane comporta una sostanziale diversificazione tipologica e quantitativa del traffico commerciale presente nelle zone urbane, confermando l'uso del mezzo leggero per la distribuzione nell'area centrale, mentre i veicoli pesanti, orientati ai servizi di trasporto industriali e per la grande e media distribuzione, hanno destinazioni prevalenti nella periferia e nell'area esterna al comune. E' da sottolineare che la particolare collocazione di punti di rilievo rispetto alle direttrici di accesso alle autostrade ha consentito di intercettare un traffico in ingresso nel cordone esterno della città ma diretto alle località esterne, in transito quindi sul territorio di Padova per accedere ai caselli autostradali. È possibile, infatti, osservare che circa 1/3 dei veicoli commerciali leggeri e più della metà dei veicoli pesanti rilevati transita dal cordone esterno dell'area comunale per accedere alle località esterne tramite i caselli di accesso all'autostrada.

Infine la mobilità su bicicletta rappresenta circa il 6% del totale degli spostamenti giornalieri e si concentra principalmente nel centro città. La sua spiccata localizzazione e la sua entità sono legate alle condizioni del trasporto nell'area considerata, in quanto la velocità media del traffico risulta più contenuta, la presenza di piste ciclabili è sufficientemente estesa e percorsi alternativi al trasporto motorizzato ne aumentano la competitività rispetto agli altri mezzi.

2.5.2 Interventi previsti

Sulla base delle conclusioni derivanti dall'analisi della mobilità attuale, lo studio determina un tasso di incremento degli spostamenti nell'ordine di +11% nelle ore di punta e di +16% nelle ore di morbida al 2010 ed individua due scenari di intervento,

al 2003 e al 2010, legati a ragioni di finanziabilità delle opere e dei provvedimenti previsti e di maggior controllo del processo di avvicinamento agli obiettivi strategici previsti a medio-lungo termine.

Gli interventi previsti sono finalizzati a:

- rilanciare il trasporto collettivo, grazie all'utilizzo di tecnologie avanzate, riorganizzare il sistema tariffario per renderlo più equo ed in grado di finanziare autonomamente il miglioramento dei livelli di servizio;
- incrementare l'integrazione tra gli interventi sul trasporto pubblico, la progettazione urbanistica degli spazi e il completamento della maglia viaria;
- riordinare e potenziare il sistema dei parcheggi sia nel centro storico che in periferia con una contestuale politica di tariffazione che consenta di garantirne l'uso nei diversi momenti della città;
- valorizzare la mobilità lenta, con l'estensione di aree e percorsi ciclopeditoni.

Per ottenere i risultati sopra esposti, il PUM prevede un modello di intervento basato su alcuni elementi fondamentali, individuati in:

- tre linee di forza, ovvero assi viari che sopportino buona parte della domanda di mobilità, grazie all'utilizzo di sistemi di trasporto intermedio innovativi su sede dedicata e protetta;
- linee di supporto, per le direttrici a minore intensità di traffico che intersechino e completino il sistema individuato dalle direttrici principali;
- parcheggi di interscambio che, collocati sulle linee di forza e in altri punti strategici, consentano di assorbire il flusso veicolare privato ed indirizzino gli utenti verso il trasporto pubblico;
- nodi di interscambio che, collocati in punti strategici, consentano l'integrazione fra i diversi sistemi pubblici di trasporto urbano e suburbano.

Per quanto attiene al trasporto pubblico, il PUM individua nei sistemi di trasporto intermedi gli strumenti per soddisfare la domanda di mobilità tanto delle direttrici principali quanto anche dell'intero sistema. I sistemi di trasporto intermedi sono tecnologie a metà strada fra autobus e tram che riassumono ed integrano le peculiarità dei sistemi originali, come la guida vincolata e le basse emissioni.

Il principale e più innovativo mezzo previsto è il “Metrobus”: un veicolo su gomma che utilizza motori elettrici ed un sistema di guida vincolata, su rotaia centrale di ridotte dimensioni, inserita nel manto stradale e che non ha alcuna funzione di supporto ma soltanto di rendere il veicolo più stabile sicuro e confortevole per i passeggeri. Rispetto al tram tradizionale, gli scavi ed i cantieri per la posa dei binari e la realizzazione delle infrastrutture tecnologiche di supporto sono sensibilmente ridotto (un anno anziché i tre previsti per un tram). I vantaggi di un sistema di questo tipo possono essere individuati:

- nell’elevata frequenza di passaggio;
- nei tempi certi connessi al fatto che viaggia in sede dedicata;
- nelle strutture di accesso adatte anche a persone disabili o a ridotte capacità motorie;
- nella silenziosità complessiva;
- nella presenza di sistemi per aumentare il comfort di viaggio, come sistemi segnaletici, informativi o di condizionamento dell’aria.

Questo mezzo verrà progressivamente impiegato nelle tre linee direttrici ed integrato col sistema di trasporto collettivo rivisto e potenziato con l’introduzione di veicoli a maggior capienza, maggior velocità e dal comfort aumentato.

In termini quantitativi, il PUM prevede di passare da una lunghezza complessiva di esercizio di 228,7 km ad una di 206,8 km, di impiegare 189 veicoli a fronte dei 202 attuali e di aumentare la velocità commerciale media di esercizio nelle ore di punta e nell’arco della giornata, dagli attuali 13,66 e 14,88 km/h a 15,1 e 16,3 km/h.

Alcuni dei valori indicati possono apparire in contrasto con la filosofia adottata, in particolare per ciò che concerne la diminuzione del numero di veicoli impiegati e la riduzione della lunghezza complessiva di esercizio; è, però, importante considerare che i flussi principali saranno assorbiti da veicoli la cui velocità commerciale è sensibilmente superiore a quella dei mezzi tradizionali e che hanno una capienza superiore di oltre il 30% rispetto agli autobus attualmente più capienti in uso all’azienda dei trasporti pubblici locali. La capienza media, infatti, è incrementata di oltre il 10%.

Per poter effettuare il rilancio previsto del sistema di trasporto pubblico, è prevista la realizzazione di nuove infrastrutture stradali che consentano di risolvere le criticità di alcuni nodi fondamentali. Nella progettazione di queste infrastrutture sono stati opportunamente individuati il ruolo, i tracciati, gli schemi funzionali ed il dimensionamento delle opere per creare una sinergia con la rete di trasporto collettivo, senza che ne venga eroso il mercato potenziale che è inteso acquisire con la riorganizzazione indicata.

Per ciò che attiene il sistema della sosta, la riorganizzazione ed il potenziamento sono affiancati ad una migliore politica di tariffazione, volta alla differenziazione dei costi orari in funzione degli utenti del servizio: lavoratori, studenti, e viaggiatori occasionali. In particolare si precisa che il contributo dei viaggiatori per lavoro dovrebbe essere sensibilmente superiore rispetto agli altri a seguito del valore attribuito dai primi al tempo di viaggio.

Infine, per quanto attiene la mobilità merci, il PUM prospetta la definizione di soluzioni mirate, come:

- la formazione di corridoi di accesso ai principali punti di destinazione e origine del traffico commerciale pesante;
- la gestione del sistema di distribuzione delle merci nell'area centrale mediante una regolamentazione mirata alla selezione dei soli veicoli commerciali leggeri;
- la promozione di una spontanea organizzazione del sistema distributivo delle merci nel centro storico, finalizzata ad unificare il sistema distributivo per particolari nicchie di mercato, al fine di concentrare il trasporto merci su mezzi dotati di maggiore efficienza ambientale e con minor impatto sul traffico.

2.5.3 Confronto con le ipotesi di lavoro

Le basi informative da cui trae origine il Piano Urbano della Mobilità individuano una situazione più complessa ed articolata rispetto a quella utilizzata nel nostro studio. La conseguenza più rilevante per ciò che attiene la nostra analisi è legata alla sensibile differenza di alcuni dati rispetto a quelli estrapolabili dal PUM in particolare per quanto riguarda il sistema dei mezzi pubblici. È importante sottolineare, però, come il PUM si riferisca all'intera area metropolitana, mentre lo

studio presentato è limitato al solo centro storico che rappresenta, in ogni caso, la zona a più alto traffico della città, come lo stesso Piano ha confermato.

In quanto piano programmatico a medio – lungo termine, il PUM non individua obiettivi specifici né per quanto riguarda la riduzione dei mezzi privati circolanti né per quanto riguarda l'utilizzo dei mezzi pubblici ma descrive gli interventi previsti e le conseguente in termini qualitativi. Lo studio qui presentato, invece, pur non entrando nel merito delle modalità con cui possono essere raggiunti, indica in termini quantitativi gli obiettivi di riduzione e si pone, pertanto, in un'ottica differente da quella ispiratrice del PUM.

3 Analisi del danno ambientale e del costo relativi al trasporto durante una giornata nella Città di Padova.

Particolare non trascurabile era già stato il modo di scendere dalle macchine, di chiudere le portiere e ottenere quel rumore di portiera d'auto che si chiude che fanno soltanto le auto americane. Non è stato ancora dimostrato se gli esperti di ricerche motivazionali e di programmazione delle grandi industrie automobilistiche nordamericane studino separatamente il rumore da ottenere quando si chiude una portiera solida di una macchina altrettanto solida. Ma quel rumore è uno dei punti di riferimento più determinanti del sistema, perché si tratta di un rumore più polisemico della più polisemica delle parole. Un rumore che vuol dire: è il mio rumore, chiude la mia macchina, la mia macchina sono io, la mia macchina è la migliore delle macchine, mi ha portato qui, ha portato qui me e se ne andrà con me soltanto, e tutta questa combinazione di prodigiose dipendenze e singolarità è frutto della potenza di un'industria capace di ottenere un rumore non meno suggestivo e simbolico di un inno.
(Manuel Vázquez Montalbán – Le Terme)

3.1 Definizione degli obiettivi e dei confini dello studio

3.1.1 *Obiettivo dello studio.*

Obiettivo dello studio è la determinazione del danno ambientale, dei costi individuali complessivamente considerati e dei costi sociali connessi all'attuale sistema dei trasporti durante una giornata ferialle nell'area urbana della Città di Padova.

3.1.2 *Scopo dello studio.*

3.1.2.1 Le funzioni del sistema.

La funzione del sistema è il trasporto di persone e di merci.

3.1.2.2 L'unità funzionale.

L'unità funzionale è costituita dai mezzi di trasporto in circolazione durante una giornata ferialle nel centro storico del comune di Padova, attribuendo a ciascuno di essi una diversa percorrenza.

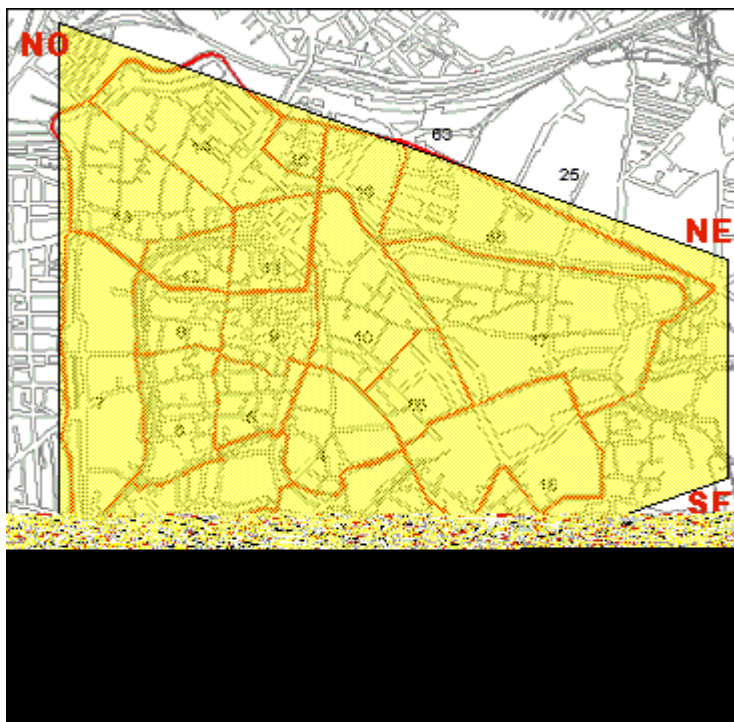
I dati sono tratti dall'indagine cordonale svolta nel 1997 ed aggiornata al 2000 effettuata dal settore Traffico e Mobilità del Comune di Padova. Lo studio considera gli ingressi e le uscite di veicoli, distinguendo tra veicoli a 2 ruote, automobili,

veicoli commerciali leggeri (LDV – Light Duty Vehicles) e veicoli commerciali pesanti (HDV – High Duty Vehicles, compresi gli autobus), attraverso le 16 strade che si immettono nel centro storico.

3.1.2.3 Il sistema che deve essere studiato.

Il sistema che deve essere studiato è il trasporto all'interno del centro storico della Città di Padova. L'area oggetto di studio (Figura 9 - Area oggetto di studio e Coordinate dei vertici) ha un'estensione di 6,38 km quadrati ed è compresa nel trapezio che ha per vertici i punti indicati in relativi ai fogli n° 75, 102, 109 e 149 della Carta Tecnica Comunale del Comune di Padova:

Figura 9 - Area oggetto di studio e Coordinate dei vertici



NO	5033800	1724200
NE	5032600	1727100
SO	5030400	1724200
SE	5031600	1727100

Si ricava che la base maggiore (B) ha una lunghezza di 3.400 m, la base minore (b) ha una lunghezza di 1.000 m e l'altezza (h) ha una lunghezza di 2.900 m. L'area del trapezio così costituito è, pertanto di

Si ricava la lunghezza del raggio del cerchio equivalente, utilizzato nei calcoli per determinare le distanze percorse dalle diverse tipologie di veicoli.

3.1.2.4 I confini del sistema.

Si considera la quota di ciclo di vita completo (produzione, uso e fine vita) da attribuire ai 189.785 mezzi di trasporto in base al numero di chilometri percorsi all'interno del centro storico della Città di Padova lungo le

Figura 10 - Diagramma a blocchi dell'inventario del parco veicolare

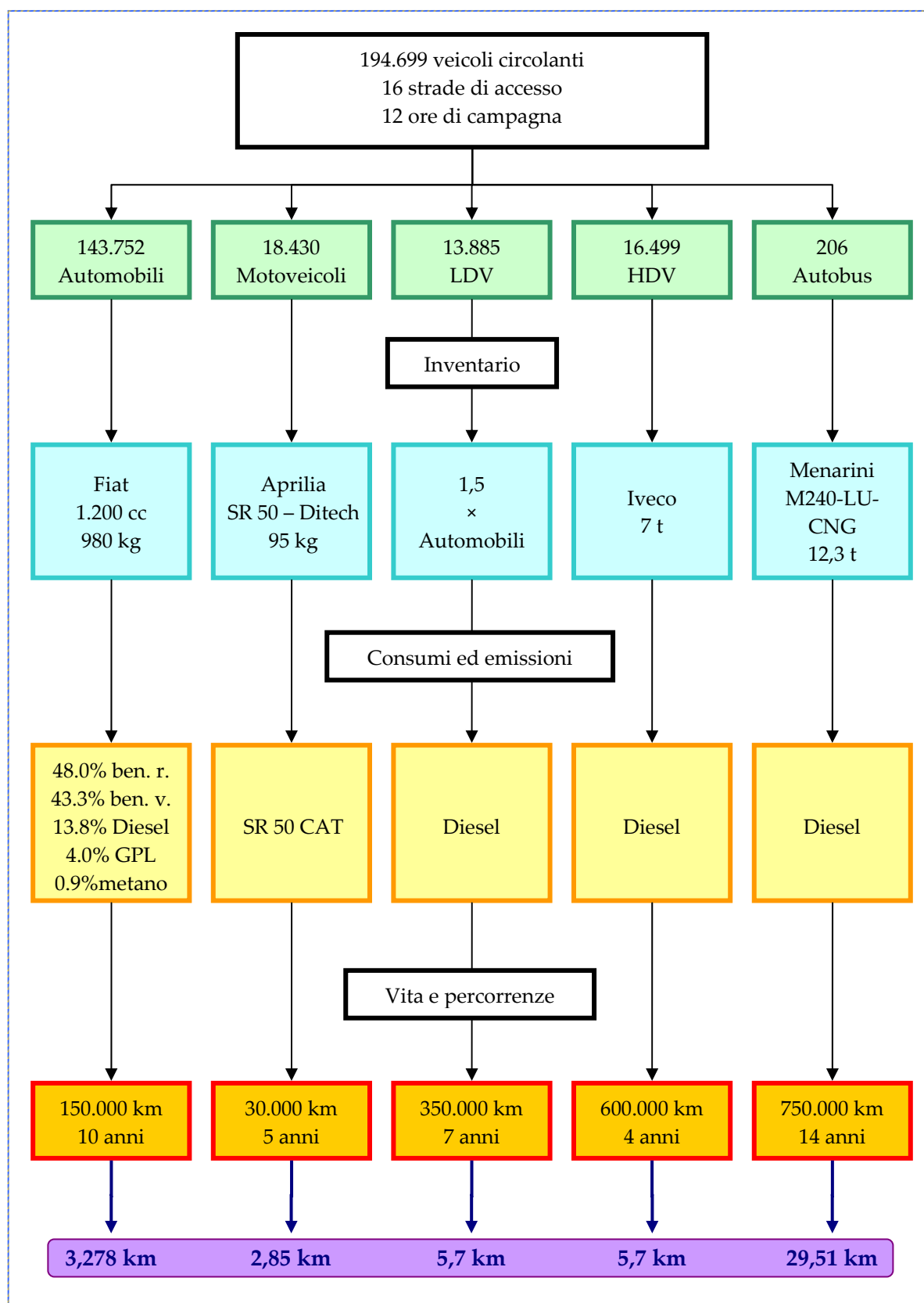
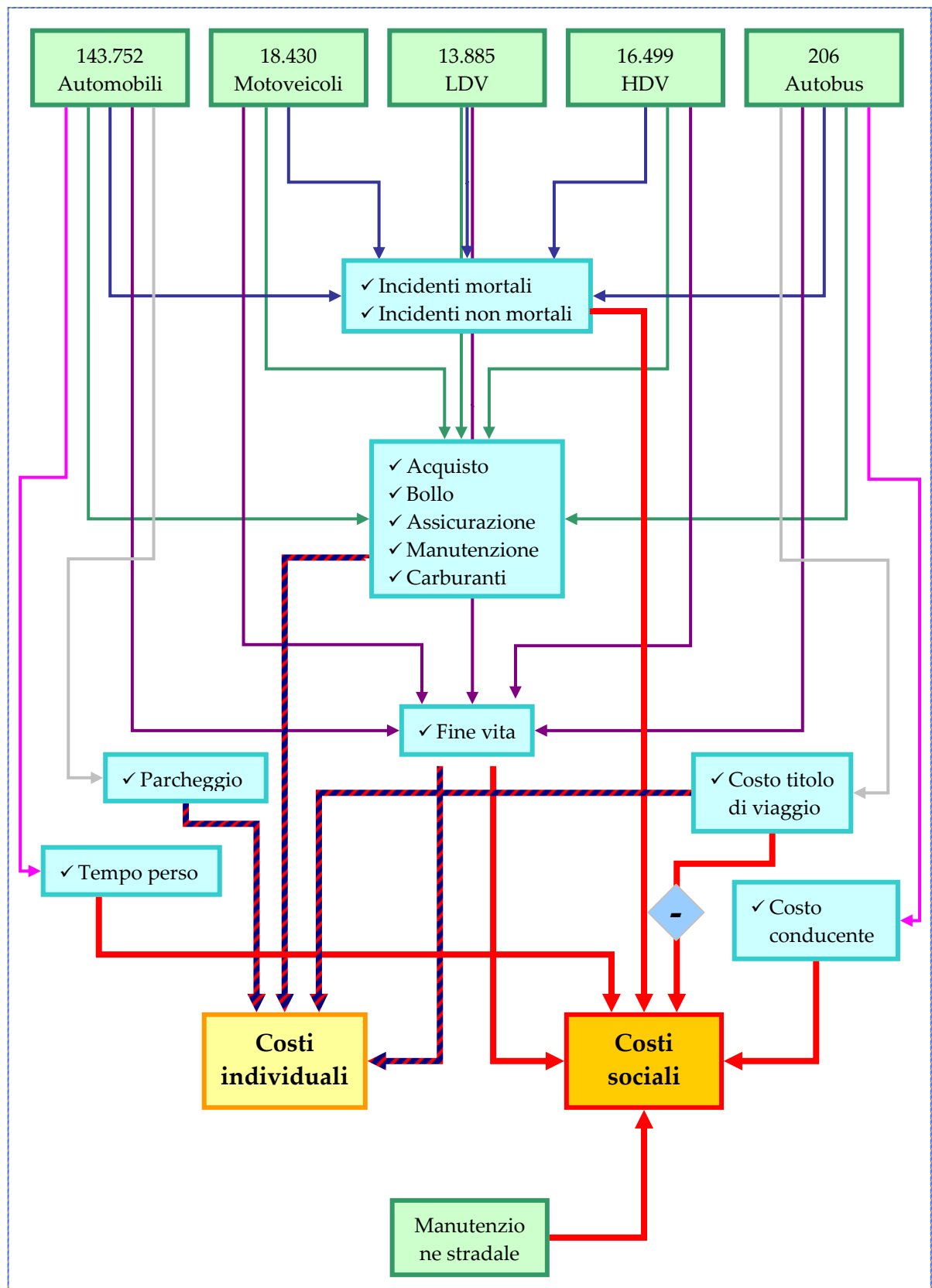


Figura 11 - Diagramma a blocchi dei costi considerati



3.3 LCA della manutenzione stradale

3.3.1 *Introduzione*

La stima dei danni connessi al fenomeno della mobilità non può prescindere da una valutazione preliminare dell'impatto dovuto alla realizzazione e successiva manutenzione della sede stradale, su cui il fenomeno insiste. In termini ambientali, oltre che economici, questo tipo di intervento rappresenta un aspetto importante per le dimensioni e le implicazioni che comporta.

Nella valutazione del fenomeno, complessivamente considerato, è stato, quindi, necessario creare due processi che consentissero di caratterizzare entrambi gli aspetti sopra indicati e, contemporaneamente, permettessero una loro valutazione ed un confronto con gli altri elementi presi in considerazione nello studio.

3.3.2 *Caratteristiche del fenomeno*

3.3.2.1 L'impiego di materiali

È stato creato un processo manutenzione asfalto con lo scopo di individuare la massa di asfalto (assimilabile *in toto* a bitume) necessaria al rifacimento del manto per una strada di 1 km di lunghezza, 7 m di larghezza (pari ad una strada ad 1 carreggiata con 1 corsia per senso di marcia) e con uno spessore dello strato di asfalto di 3 cm. In Tabella 9 è esplicitato il calcolo per la determinazione del volume e del peso di bitume necessario alla manutenzione di 1 km di strada con le caratteristiche sopra esposte.

Tabella 9 - Chilogrammi di bitume necessari per la manutenzione di 1 km di strada

Densità bitume ³⁶ (kg/dm ³)	1,06
m ³ di asfalto necessari	1000 m x 7 m x 0,03 m = 210 m³
Dm ³ equivalenti	210.000
Kg equivalenti	210.000 dm ³ x 1,06 kg/dm ³ = 222.600 kg

³⁶ Fonte: www.siteb.it/Notiziario%205_98.html – sito aggiornato al 15 marzo 2003.

3.3.2.2 I costi di manutenzione

È stato creato il processo costo manutenzione asfalto, con lo scopo di individuare il costo sostenuto dall'amministrazione comunale per il rifacimento del manto stradale. A tale proposito è stato considerato il dato relativo al bilancio presuntivo 2002, alla voce "*Manutenzione straordinaria viabilità nei quartieri ed intraquartieri*" che indica in circa 6 milioni di € gli investimenti in questo settore.

I quartieri, nei quali è divisa la città, sono 7; uno di questi comprende tutta la zona del centro. Si ipotizza che i fondi siano equamente distribuiti tra i 7 quartieri. Ogni quartiere ha a disposizione per la manutenzione stradale 860.000 € (pari a 6 mln € / 7 quartieri). Il valore rappresenta la cifra, stanziata dall'amministrazione, per la manutenzione stradale lungo tutto l'arco dell'anno.

Il nostro studio considera un giorno feriale pertanto l'ammontare di fondi destinati alla manutenzione è pari a 2.356 € (ossia 860.000 € / 365 giorni).

3.3.3 Implementazione del fenomeno

L'attività di manutenzione stradale è un aspetto connesso all'usura delle vie di transito non ad uno specifico mezzo di trasporto. In quest'ottica, i due processi individuati non sono stati attribuiti, nel calcolo complessivo, ad alcuna categoria specifica di veicoli.

Il processo costo manutenzione asfalto è stato conteggiato una volta a seguito della sua caratteristica di rappresentare il costo giornaliero sostenuto per la risistemazione del manto stradale.

Per il conteggio relativo al processo manutenzione asfalto sono stati calcolati i km di cui, statisticamente, viene effettuata la manutenzione in un giorno e questo valore è stato inserito nel codice. In Tabella 10 è esplicitato il calcolo.

Tabella 10 - Manutenzione stradale al giorno

Estensione stradale Comune (km)	725
Quartieri	7
Superficie stradale per quartiere (km)	725 km / 7 anni = 103,5
Anni di completa manutenzione	5
Km mantenuti all'anno	103,5 km / 5 anni = 20,7
Km mantenuti al giorno	20,7 km / 365 giorni = 0,057 km

3.4 LCA del traffico feriale delle autovetture

3.4.1 Introduzione

In questo paragrafo verrà descritto il procedimento utilizzato per la realizzazione dell'analisi del ciclo di vita del traffico riferibile alle sole autovetture, durante una giornata tipo. Si procederà seguendo la struttura utilizzata dal codice al fine da dare una migliore leggibilità dei risultati.

3.4.2 Assembly dell'automobile

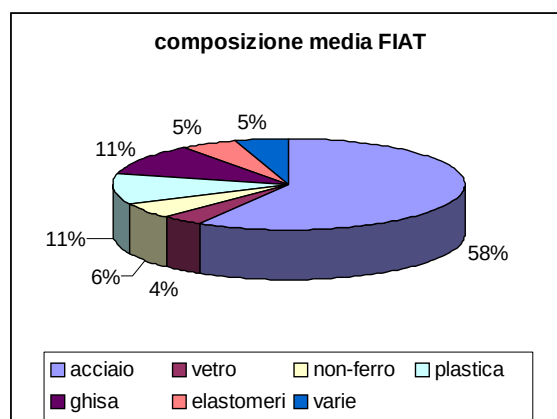
3.4.2.1 Le caratteristiche generali

L'automobile di riferimento, sulla base della quale è stato sviluppato il modello, è un'auto di produzione nazionale, del peso complessivo di 980 kg.

I materiali di cui è costituita sono indicati in Tabella 11, con le relative percentuali sul totale del veicolo.

Tabella 11 - Materiali costituenti l'automobile

Materiali	Quantità (Kg)	% peso totale
Acciaio	570,31	58,1
Ghisa	108,78	11,1
Polipropilene	36,02	3,7
Poliuretano	14,41	1,5
Polietilene	10,30	1,1
PVC	7,20	0,7
Poliammide	6,69	0,7
Altre plastiche	29,33	3,0
Elastomeri	52,92	5,3
Alluminio	28,42	2,9
Rame	28,42	2,9
Vetro	39,20	4,0
Altri materiali	49,00	5,0



Fonte: Sassi D., Analisi del ciclo di vita dell'automobile, Documento ENEA PROT-P135-010

Nell'assembly sono considerati anche i processi per lo stampaggio delle materie plastiche, per la forgiatura dei metalli e per la produzione del vetro.

Si è ipotizzata una vita media del veicolo di 10 anni, con una percorrenza complessiva massima di 150.000 km. Il prezzo dell'auto è fissato in 10.240 € e nell'assembly esso è posto sotto il processo con nome costo produzione auto PD.

In Tabella 12 è riportato l'*assembly* Auto PD, con cui è stata rappresentata la produzione dell'auto all'interno del codice.

3.4.2.2 Caratterizzazione e Valutazione dell'assembly Auto

Per una migliore lettura dei risultati, si riassumono brevemente i concetti relativi alle unità di misura del danno, più dettagliatamente definiti nel capitolo 1.4.5:

- il DALY valuta il peso di una infermità dovuta ad invalidità o a morte prematura attribuibile a ciascuna malattia, determinando il numero di anni di vita persi a seguito di essa;
- il PDF·m²·y valuta, a livello europeo, la frazione di specie che hanno una alta probabilità di non sopravvivere a seguito degli impatti considerati;
- il MJ Surplus valuta il surplus di energia necessario per estrarre 1 kg di materiale quando il suo consumo sarà 5 volte quello del 1990

Dai risultati della caratterizzazione (Tabella 13 e Figura 12) si può osservare:

- Nella categoria di danno **Human Health**, il danno totale è pari a 0,00326 DALY. Il danno maggiore, 0,00264 DALY, è connesso alla categoria di impatto Respiratory Inorganics. Il contributo maggiore è dovuto al processo CuNi10Fe I (0,00124 DALY) a causa della emissione in atmosfera di 21,1 kg di SO₂ e al material Steel I (0,000561 DALY);
- Nella categoria di danno **Ecosystem Quality**, il danno totale è pari a 829 PDF·m²·y. Il danno maggiore, 651 PDF·m²·y, è connesso alla categoria di impatto Ecotoxicity. Il contributo maggiore è dovuto al processo Cast work non ferro, usato per considerare la fusione della ghisa, a causa della emissione di 205,6 g di Zinco in aria;

- Nella categoria di danno **Resources**, il danno totale è pari a 4.410 MJ Surplus. Il danno maggiore, 3.060 MJ surplus, è connesso alla categoria di impatto Fossil Fuels. Il contributo maggiore è dovuto al material Steel I (865 MJ surplus) a causa del consumo di 314 kg di carbone.

Dai risultati della valutazione (Tabella 14 e Figura 13) si osserva che:

- Il **danno totale** vale 292 Pt di cui il 24,7% è dovuto a CuNi10Fe I e il 20,26% è dovuto a Castwork, non ferro;
- Il contributo maggiore deriva dalla categoria di danno Resources (50,65%) e da quella di impatto Fossil Fuels (35,21%).

Tabella 12 - Assembly Auto PD

SimaPro 5.0		Product stage Date: 20/02/2003	
Project: traffico Padova		Time: 18.40.16	
Assembly:			
Name		Comment	
auto PD		auto FIAT 980 kg con una vita media di 10 anni	
Materials/Assemblies	Amount	Unit	Comment
Steel I	570,36	kg	acciaio
GGG40 I	108,78	kg	ghisa 11.1%
PP I	36,015	kg	polipropilene 35%*10.5%
PUR rigid foam I	14,406	kg	poliuretano 14%*10.5%
PE P	10,29	kg	polietilene 10%*10.5%
PVC I	7,203	kg	PVC 7%*10.5%
PA 6 I	6,6885	kg	poliammide 6.5%*10.5%
ABS I	29,327	kg	altri 28.5%*10.5%
SBR I	52,92	kg	elastomeri
AlCuSiMg (2036) I	28,42	kg	1/2 non ferrosi 5.8% = alluminio
CuNi10Fe I	28,42	kg	1/2 non ferrosi 5.8% = rame
Glass gas-fired bj	39,2	kg	vetro 4%
Oil heavy B300	49	kg	varie 5%
Processes	Amount	Unit	Comment
Forging steel	570,36	kg	
Cast work, non-ferro	108,78	kg	
Injection moulding	102,9	kg	
Injection moulding	52,92	kg	
Copper wire	28,42	kg	
Cast work, non-ferro	28,42	kg	
costo produzione auto PD	1	p	il prezzo dell'auto è posto pari a 10.240 €

Parte II – Capitolo 3

Tabella 13 - Caratterizzazione dell'assembly Auto PD

SimaPro 5.0	LCIA Profile	Date:	20/02/2003								
Project: traffico Padova		Time:	18.29.13								
Title:											
Method:	Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E										
Value:	Impact indicator										
Per impact category:	Yes										
Skip unused:	Never										
Relative mode:	Non										
Impact category	Unit	Total	Steel I	GGG40 I	PP I	PUR rigid foam I	PE P	PVC I	PA 6 I	ABS I	SBR I
Carcinogens	DALY	1,6600E-04	3,6600E-05	8,4200E-07	5,8700E-07	3,2700E-05	1,3900E-07	3,6300E-08	3,6700E-07	5,9500E-07	5,5700E-06
Respiratory organics	DALY	8,5500E-06	8,8000E-07	7,4700E-08	5,9900E-07	1,1000E-06	2,7700E-07	1,7600E-07	1,2600E-07	1,9000E-07	1,0400E-06
Respiratory inorganics	DALY	2,6400E-03	5,6100E-04	4,5200E-05	6,1700E-05	7,1700E-05	1,5400E-05	1,1700E-05	1,3600E-05	5,4500E-05	1,1500E-04
Climate change	DALY	4,4700E-04	1,2200E-04	1,0000E-05	8,3200E-06	1,5900E-05	2,3800E-06	3,2700E-06	1,1100E-05	2,0600E-05	1,4000E-05
Radiation	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ozone layer	DALY	2,3600E-07	2,2300E-09	1,4100E-10	x	3,4700E-10	x	x	x	x	x
Ecotoxicity	PAF*m2yr	6,5100E+03	2,3600E+02	1,8700E+01	4,9800E-01	3,8500E+00	3,7300E-02	5,6900E-02	2,6600E+00	3,4200E-01	4,5000E+00
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	8,0800E+01	2,3300E+01	2,0600E+00	2,4700E+00	2,6700E+00	6,6300E-01	4,5700E-01	7,5600E-01	2,1500E+00	4,6000E+00
Land use	PDF*m2yr	9,7800E+01	4,3200E+01	3,4100E+00	1,4600E+00	1,2800E+00	x	2,4200E-01	2,2500E-01	8,8900E-01	1,1400E+00
Minerals	MJ surplus	1,3400E+03	2,8400E+01	1,7600E+02	2,3800E-01	5,9900E+00	3,8300E-01	1,6700E-03	4,5400E-03	9,5600E-03	5,3000E+00
Fossil fuels	MJ surplus	3,0600E+03	8,6500E+02	7,3000E+01	1,9800E+02	9,2900E+01	7,3900E+01	2,2200E+01	8,8800E+01	1,7500E+02	2,9200E+02
Costi individuali	euro	1,0200E+04	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Incidenti	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Costi sociali	euro	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Disagio	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

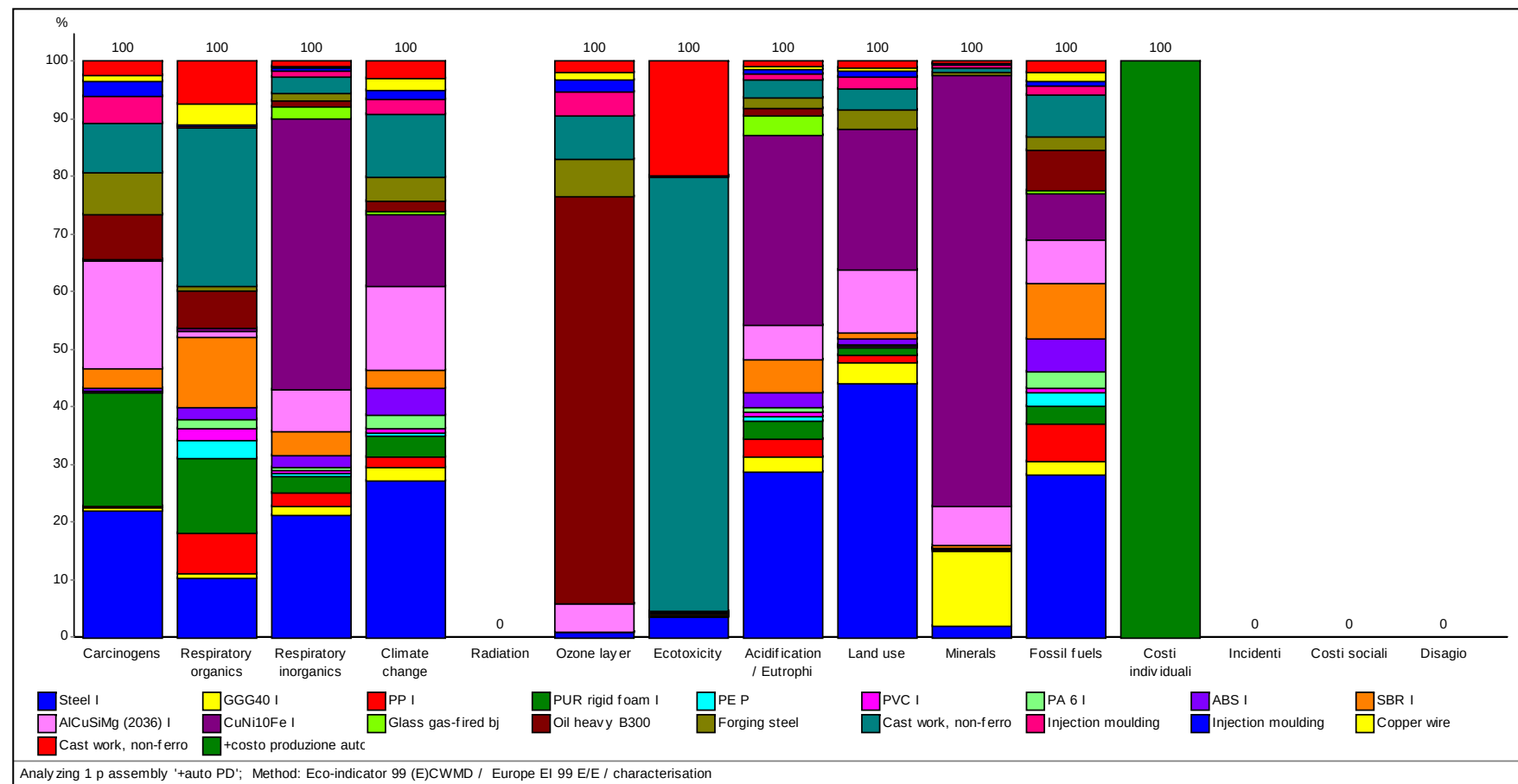
Parte II – Capitolo 3

Tabella 13 - Caratterizzazione dell'assembly Auto PD (continua)

Impact category	Unit	AlCuSiMg (2036) I	CuNi10Fe I	Glass gas- fired bj	Oil heavy B300	Forging steel	Cast work, non-ferro	Injection moulding	Injection moulding	Copper wire	Cast work, non-ferro	costo produzione auto PD
Carcinogens	DALY	3,1200E-05	1,8000E-07	X	1,2900E-05	1,2300E-05	1,4100E-05	7,9100E-06	4,0700E-06	2,0700E-06	3,6800E-06	x
Respiratory organics	DALY	8,7300E-08	3,6800E-08	X	5,6200E-07	5,8500E-08	2,3500E-06	3,7500E-08	1,9300E-08	3,1700E-07	6,1500E-07	x
Respiratory inorganics	DALY	1,9300E-04	1,2400E-03	5,1800E-05	2,7200E-05	3,8700E-05	7,4300E-05	2,4800E-05	1,2700E-05	1,0500E-05	1,9400E-05	x
Climate change	DALY	6,5400E-05	5,5600E-05	2,0600E-06	7,5200E-06	1,8600E-05	4,9200E-05	1,1900E-05	6,1400E-06	9,5800E-06	1,2900E-05	x
Radiation	DALY	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x
Ozone layer	DALY	1,1200E-08	6,2000E-11	X	1,6700E-07	1,5300E-08	1,7500E-08	9,8200E-09	5,0500E-09	2,5700E-09	4,5700E-09	x
Ecotoxicity	PAF*m2yr	1,2300E+01	6,3300E-01	X	1,3300E+01	9,7700E+00	4,9100E+03	6,2600E+00	3,2200E+00	1,6400E+00	1,2800E+03	x
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	4,7100E+00	2,6700E+01	2,8100E+00	1,0800E+00	1,4500E+00	2,4700E+00	9,3100E-01	4,7900E-01	4,6300E-01	6,4400E-01	x
Land use	PDF*m2yr	1,0500E+01	2,3900E+01	X	x	3,2000E+00	3,6500E+00	2,0500E+00	1,0600E+00	5,3700E-01	9,5500E-01	x
Minerals	MJ surplus	9,1000E+01	1,0000E+03	X	x	8,9100E+00	1,0200E+01	5,7100E+00	2,9400E+00	1,4900E+00	2,6600E+00	x
Fossil fuels	MJ surplus	2,3300E+02	2,4900E+02	1,8700E+01	2,1000E+02	7,0000E+01	2,2800E+02	4,4800E+01	2,3100E+01	4,5700E+01	5,9500E+01	x
Costi individuali	euro	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	1,0200E+04
Incidenti	DALY	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x
Costi sociali	euro	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x
Disagio	DALY	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x

Parte II – Capitolo 3

Figura 12 - Caratterizzazione dell'assembly Auto PD



Parte II – Capitolo 3

Tabella 14 - Valutazione dell'assembly Auto PD

SimaPro 5.0		LCIA Profile Date:		20/02/2003								
Project: traffico Padova		Time:		18.29.49								
Title:												
Method:		Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E										
Value:		Weighted indicator										
Per impact category:		Yes										
Relative mode:		Non										
Impact category		Unit	Total	Steel I	GGG40 I	PP I	PUR rigid foam I	PE P	PVC I	PA 6 I	ABS I	SBR I
Total		Pt	2,9200E+02	5,2800E+01	1,0200E+01	8,4400E+00	6,1000E+00	2,9100E+00	1,1100E+00	3,5900E+00	7,6600E+00	1,3200E+01
Carcinogens		Pt	3,2200E+00	7,1100E-01	1,6400E-02	1,1400E-02	6,3500E-01	2,7000E-03	7,0400E-04	7,1300E-03	1,1600E-02	1,0800E-01
Respiratory organics		Pt	1,6600E-01	1,7100E-02	1,4500E-03	1,1600E-02	2,1400E-02	5,3700E-03	3,4100E-03	2,4500E-03	3,6900E-03	2,0200E-02
Respiratory inorganics		Pt	5,1300E+01	1,0900E+01	8,7700E-01	1,2000E+00	1,3900E+00	2,9800E-01	2,2700E-01	2,6400E-01	1,0600E+00	2,2300E+00
Climate change		Pt	8,6700E+00	2,3700E+00	1,9500E-01	1,6100E-01	3,0900E-01	4,6100E-02	6,3400E-02	2,1600E-01	4,0100E-01	2,7300E-01
Radiation		Pt	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x
Ozone layer		Pt	4,5700E-03	4,3300E-05	2,7300E-06	X	6,7300E-06	x	x	x	x	x
Ecotoxicity		Pt	6,3500E+01	2,3000E+00	1,8200E-01	4,8600E-03	3,7500E-02	3,6300E-04	5,5500E-04	2,6000E-02	3,3400E-03	4,3900E-02
Acidification/ Eutrophication		Pt	7,8800E+00	2,2700E+00	2,0100E-01	2,4100E-01	2,6100E-01	6,4600E-02	4,4500E-02	7,3800E-02	2,1000E-01	4,4900E-01
Land use		Pt	9,5400E+00	4,2200E+00	3,3300E-01	1,4300E-01	1,2400E-01	x	2,3600E-02	2,1900E-02	8,6700E-02	1,1200E-01
Minerals		Pt	4,5100E+01	9,5400E-01	5,9000E+00	7,9800E-03	2,0100E-01	1,2900E-02	5,6100E-05	1,5300E-04	3,2100E-04	1,7800E-01
Fossil fuels		Pt	1,0300E+02	2,9100E+01	2,4500E+00	6,6700E+00	3,1200E+00	2,4800E+00	7,4700E-01	2,9800E+00	5,8900E+00	9,8100E+00
Costi individuali		Pt	0,0000E+00	x	x	X	x	x	x	x	x	x
Incidenti		Pt	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x
Costi sociali		Pt	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x
Disagio		Pt	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x

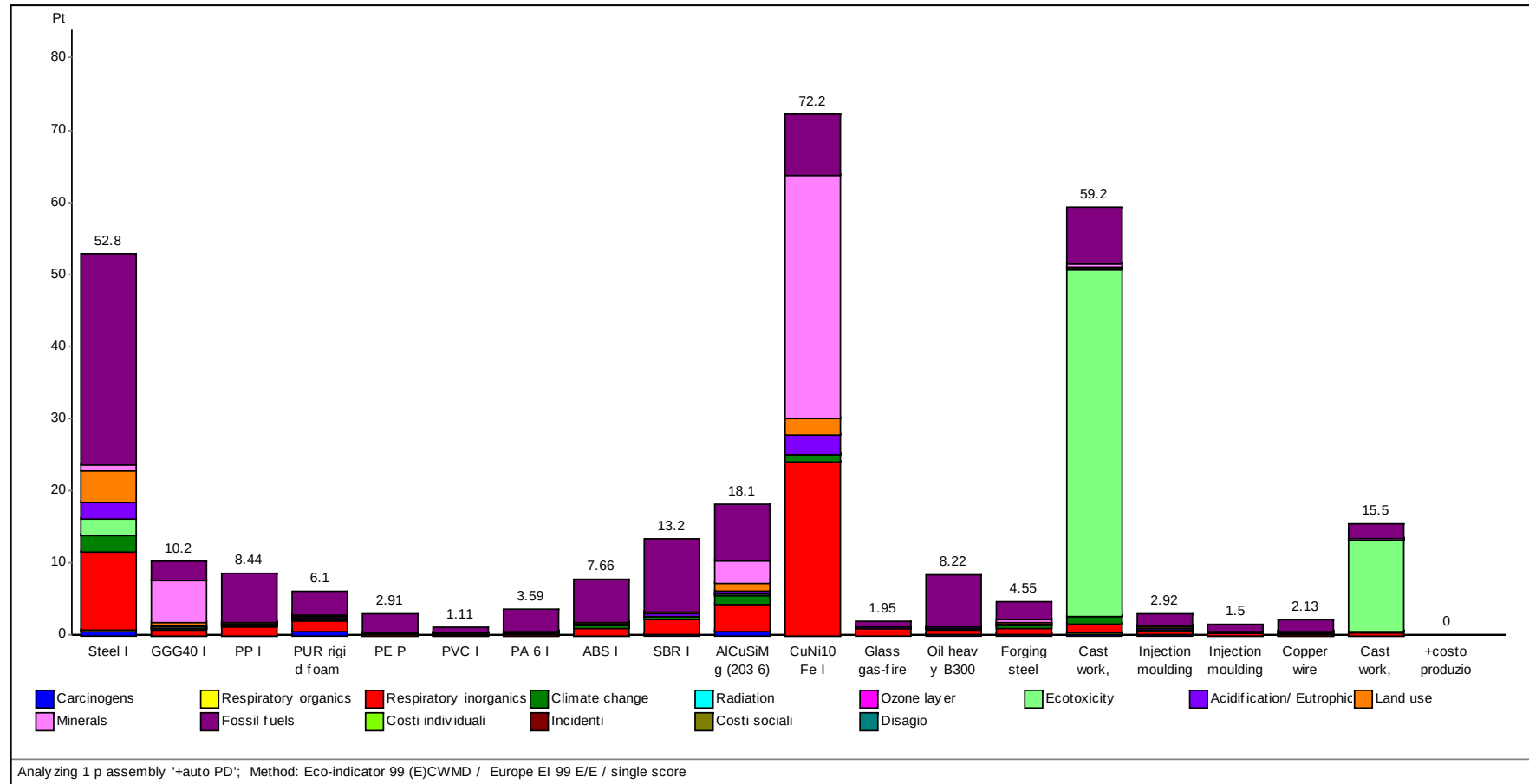
Parte II – Capitolo 3

Tabella 14 - Valutazione dell'assembly Auto PD (continua)

Impact category	Unit	AlCuSiMg (2036) I	CuNi10Fe I	Glass gas- fired bj	Oil heavy B300	Forging steel	Cast work, non-ferro	Injection moulding	Injection moulding	Copper wire	Cast work, non-ferro	costo produzione auto PD
Total	Pt	1,8100E+01	7,2200E+01	1,9500E+00	8,2200E+00	4,5500E+00	5,9200E+01	2,9200E+00	1,5000E+00	2,1300E+00	1,5500E+01	0,0000E+00
Carcinogens	Pt	6,0600E-01	3,5000E-03	x	2,5100E-01	2,4000E-01	2,7300E-01	1,5400E-01	7,9000E-02	4,0200E-02	7,1400E-02	x
Respiratory organics	Pt	1,6900E-03	7,1400E-04	x	1,0900E-02	1,1400E-03	4,5700E-02	7,2700E-04	3,7400E-04	6,1500E-03	1,1900E-02	x
Respiratory inorganics	Pt	3,7500E+00	2,4100E+01	1,0100E+00	5,2800E-01	7,5100E-01	1,4400E+00	4,8100E-01	2,4700E-01	2,0500E-01	3,7700E-01	x
Climate change	Pt	1,2700E+00	1,0800E+00	3,9900E-02	1,4600E-01	3,6200E-01	9,5500E-01	2,3200E-01	1,1900E-01	1,8600E-01	2,5000E-01	x
Radiation	Pt	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x
Ozone layer	Pt	2,1700E-04	1,2000E-06	x	3,2400E-03	2,9700E-04	3,3900E-04	1,9100E-04	9,8000E-05	4,9900E-05	8,8700E-05	x
Ecotoxicity	Pt	1,2000E-01	6,1700E-03	x	1,2900E-01	9,5200E-02	4,7900E+01	6,1000E-02	3,1400E-02	1,6000E-02	1,2500E+01	x
Acidification/ Eutrophication	Pt	4,6000E-01	2,6000E+00	2,7400E-01	1,0600E-01	1,4200E-01	2,4000E-01	9,0800E-02	4,6700E-02	4,5200E-02	6,2800E-02	x
Land use	Pt	1,0300E+00	2,3400E+00	x	X	3,1200E-01	3,5600E-01	2,0000E-01	1,0300E-01	5,2400E-02	9,3100E-02	x
Minerals	Pt	3,0600E+00	3,3700E+01	x	X	2,9900E-01	3,4200E-01	1,9200E-01	9,8700E-02	5,0200E-02	8,9300E-02	x
Fossil fuels	Pt	7,8300E+00	8,3600E+00	6,2700E-01	7,0500E+00	2,3500E+00	7,6500E+00	1,5100E+00	7,7500E-01	1,5300E+00	2,0000E+00	x
Costi individuali	Pt	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	0,0000E+00
Incidenti	Pt	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x
Costi sociali	Pt	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x
Disagio	Pt	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x

Parte II – Capitolo 3

Figura 13 - Valutazione dell'assembly Auto PD



3.4.3 Caratteristiche del traffico automobilistico

3.4.3.1 La combustione e le emissioni

Le rilevazioni ACI³⁷ sulle autovetture immatricolate nel comune di Padova nel 2000, pari a 125.277 automobili, mostrano una netta prevalenza di mezzi alimentati a benzina (81,3%, pari a 101.794 veicoli), seguiti da quelli alimentati a gasolio (13,8%, pari a 17.316 veicoli), a GPL (4,0%, pari a 5.062 veicoli) e a metano (0,9%, pari a 1.094 veicoli). Delle auto a benzina, quasi il 60% utilizza carburanti ad elevato numero di ottani (benzine “verdi”).

A seguito di queste considerazioni, all'interno della categoria *Transport – Road* è stato necessario creare *ex novo* o modificare 5 processi distinti per la modellazione dei processi di combustione e delle effettive emissioni di ciascuna tipologia di veicoli:

- **Car (LPG) I**: è il processo per la modellazione delle auto alimentate a GPL. I dati utilizzati sono stati tratti direttamente dalle banche dati del codice. Il processo valuta le emissioni in atmosfera sulla base di un consumo stimato di 0,0614 kg di combustibile al km. Le caratteristiche più significative riguardano le basse emissioni di polveri (0,01 g) e di NO_x (0,81 g). Le emissioni considerano una capacità di carico, ovvero il numero medio di persone trasportate dalla vettura, pari a 1,6 persone.
- **Car (Diesel) I**: è il processo per la modellazione delle auto alimentate a gasolio. I dati utilizzati sono stati tratti direttamente dalle banche dati del codice. Il processo valuta le emissioni in atmosfera sulla base di un consumo stimato di 0,06 kg di combustibile al km. Tra le emissioni sono annoverate anche Formaldeide, Naftalene, Etilbenzene e Toluene, oltre ai consueti inquinanti atmosferici come SO₂, NO_x, CO, VOC, NMVOC e Benzene. Le emissioni considerano una capacità di carico pari a 1,6 persone.

³⁷ Cfr. Inventario Copert III su www.aci.it

- **Car (Natural Gas) I**: è il processo per la modellazione delle auto alimentato a gas naturale (metano). Il modello prende a riferimento un veicolo di 1.300 cc di cilindrata e 865 kg di peso (si tratta di un Piaggio “Porter”) e sono stati forniti dalla ditta Landi Renzo di Reggio Emilia³⁸. Il processo valuta le emissioni in atmosfera sulla base di un consumo stimato di 0,0112 kg di combustibile al km. Essendo il carburante un gas, per il calcolo del consumo si è utilizzata la densità del metano alla pressione di 200 bar, pressione tipica dei serbatoi installati sulle vetture, pari a 0,175 kg/l. Le emissioni considerano una capacità di carico pari a 1,54 persone. Di seguito, in Tabella 15, viene presentato il processo Car (natural gas) PD.

³⁸ Dati Landi Renzo (RE), relativi ai consumi e alle emissioni dei furgoni e dei camion a metano, comunicazione diretta, luglio 2002.

Tabella 15 - Processo Car (natural gas) PD

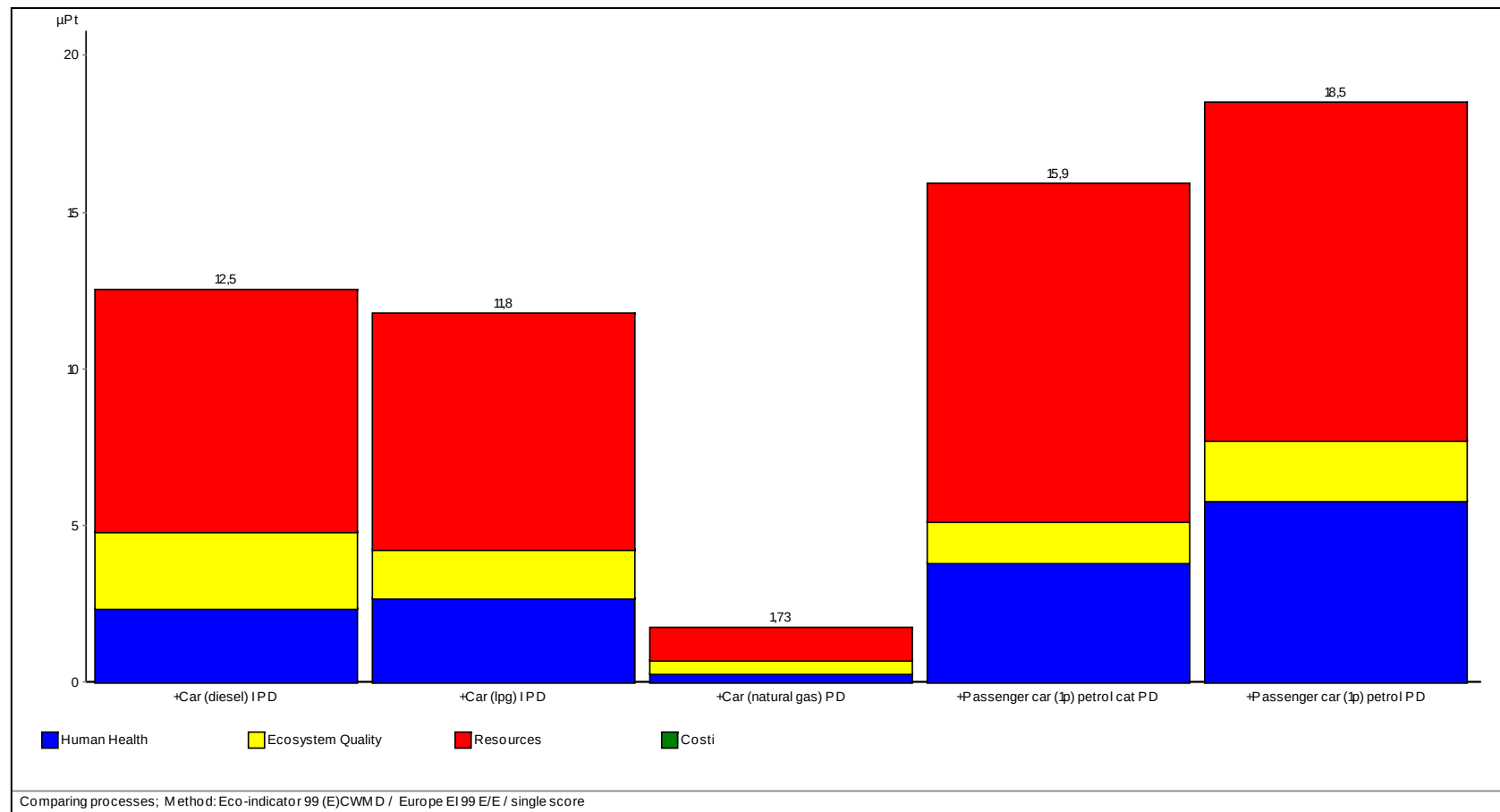
SimaPro 5.0		Processes		Date: 28/03/2003	
Project: traffico Padova				Time: 12.20.12	
Process					
Category type		Transport			
Comment		LCA for the transport by automobile with an average of 1.54 persons with luggage over 1km.auto a metano con i dati avuti dalla Landi Renzo per una Porter Piaggio di 1296 cm2 di cilindrata e di 865 kg di massa			
Materials/fuels		Amount		Unit	
Natural gas B		0,011193	0 0	kg	Dai dati forniti, il consumo di metano: 6.396 l/100 km La densità del metano a 200 bar: 0.175 kg/l Il consumo calcolato è pari a: 0.06396 l/km * 0.175 kg/l = 0.011193 kg/km
Emissions to air					
NOx		0,064	0 0	g	Dati Landi Renzo (RE)
CO2		30,78	0 0	g	Se si calcola con la relazione: mco2/mcomb = 44 / (12+m/n) con: m = 4 n=1 Si ottiene: 0.011193 kg/km * 2.75 = 0.03078 kg/km Dati Landi Renzo (RE)
CO		0,208	0 0	g	Dati Landi Renzo(RE)
CxHy		0,114	0 0	g	Dati Landi Renzo(RE)
Non material emission					
Occup. as rail/road area		0,0046	0 0	m2a	[3], source therein: Hüsler, 1989.
Products					
+Car (natural gas) PD		1	0 0	km	L'auto a metano corrisponde ad un Porter Piaggio di 1296 cc di cilindrata e di 865 kg di massa. I dati sono stati forniti dalla ditta Landi Renzo.

- **Passenger car (1p) petrol cat:** è il processo per la modellazione delle auto alimentate a benzine, cosiddette, “verdi”. I dati utilizzati sono stati tratti dalla banca dati IVAMLCA 3, disponibile all’interno del database fornito unitamente al codice di calcolo SimaPro v. 5.0, e sono stati modificati per tener conto delle emissioni di particolato atmosferico, assente nel processo originale. Poiché il valore considerato, pari a 14 mg, non viene distinto tra PM 10 e PM 2.5, si è attribuita la metà di tale valore a ciascuna delle due tipologie di emissioni. Il processo valuta le emissioni sulla base di un consumo stimato di 0,072 kg/km di combustibile. Le emissioni considerano una capacità di carico di 1 persona.
- **Passenger car (1p) petrol:** è il processo per la modellazione delle auto alimentate a benzine contenenti piombo. I dati utilizzati sono stati tratti dalla banca dati IVAMLCA 3, disponibile all’interno del database fornito unitamente al codice di calcolo SimaPro v. 5.0, e sono stati modificati, prendendo a riferimento il processo Passenger car (1p) petrol cat, inserendo come valori di emissione dei composti CO, NO_x, VOC, quelli corrispondenti tratti dal processo car petrol I, che modella, anch’esso, un’auto a benzina “rossa” ma non valuta le emissioni di benzene. Il processo valuta le emissioni sulla base di un consumo stimato di 0,072 kg/km di combustibile. Le emissioni considerano una capacità di carico di 1 persona.

In Figura 14 è presentato il confronto tra i 5 processi considerati. Da esso è possibile constatare che, a parità di altre condizioni, il danno maggiore deriva dall’utilizzo di carburanti contenenti piombo (1,85e-05 Pt), seguono i carburanti, cosiddetti, ecologici (1.59e-05 Pt), il gasolio (1.25e-05 Pt), il gas propano liquido (LPG) (1.18e-05 Pt) ed infine il metano che arreca un danno di un ordine di grandezza inferiore alle benzine “rosse” (1.73e-06 Pt).

Ciascun processo è attribuito, nel calcolo, al numero effettivo di chilometri percorsi dalle auto circolanti, per tipologia veicolare, durante una giornata tipo.

Figura 14 -Confronto fra i 5 processi di automobili



3.4.3.2 I costi del carburante

Poiché esistono, e sono state modellate, vetture alimentate a combustibili diversi, è stato necessario creare 4 processi per la valutazione dei costi relativi ai carburanti utilizzati. I processi valutano il costo sostenuto da un automobilista per percorrere un chilometro di strada utilizzando una vettura alimentata con uno dei 4 tipi di combustibili previsti (non è stata effettuata alcuna distinzione tra benzine con e senza piombo). I consumi sono stati tratti dalle banche dati del codice, analogamente a quanto fatto per le emissioni. Nella seguente Tabella 16 sono indicati i consumi ed i costi, per litro di carburante, utilizzati:

Tabella 16 - Costi dei combustibili considerati

Combustibile	Costo (€/l)	Percorrenze (km/l) ³⁹
Benzina (con e senza piombo)	1,06	10
Gasolio	0,86	13,8
GPL	0,50	8,3
Metano	0,66 (€/kg)	20,4 (km/kg)

I costi sono attribuiti, nel calcolo, ai chilometri complessivamente percorsi, durante la giornata tipo, dalle auto alimentate con il relativo combustibile.

3.4.3.3 I costi di utilizzo

Al fine di valutare i diversi costi sostenuti dal proprietario del veicolo, sono stati creati alcuni processi atti alla quantificazione delle spese. Sono stati presi in considerazione la manutenzione, la tassa di circolazione (c.d. bollo), l'assicurazione obbligatoria (RCA), il costo per la sosta, le contravvenzioni eventualmente elevate e il disagio cui l'automobilista è soggetto per il congestionamento delle strade.

³⁹ Il codice utilizza come unità di misura il kg per determinare i consumi delle vetture. Poiché nella pratica, escludendo il caso del metano, i consumi sono indicati generalmente in l/km e le percorrenze in km/l, si indicano i valori di densità utilizzati per la conversione:

- Benzine: 0.72 kg/l;
- Gasolio: 0.83 kg/l;
- Gas Propano Liquido: 0.51 kg/l.

- **Costo di manutenzione:** è il processo per la valutazione dei costi sostenuti dall'automobilista per la manutenzione ordinaria e straordinaria del veicolo nell'arco dell'intera vita (10 anni o 150.000 km di percorrenza complessiva). Il valore è posto pari a € 8.125,68 per la manutenzione ordinaria, sulla base del prospetto seguente (Tabella 17):

Tabella 17 - Costi per la manutenzione ordinaria

Cambio pneumatici	ogni 30.000 km	€ 206,58
	dopo 150.000 km	€ 1.032,90
Cambio olio, filtro olio, filtro aria motore, candele	ogni 10.000 km	€ 154,94
	dopo 150.000 km	€ 2.324,10
Cambio batteria	ogni 3 anni	€ 51,65
	in 10 anni	€ 172,17
Revisione impianto climatizzazione, aggiunta gas refrigerante	ogni 5 anni	€ 258,23
	in 10 anni	€ 516,46
Cambio frizione	ogni 70.000 km	€ 361,52
	dopo 150.000 km	€ 774,69
Cambio ammortizzatori	ogni 5 anni	€ 258,23
	in 10 anni	€ 516,46
Manutenzione carrozzeria	ogni anno	€ 258,23
	in 10 anni	€ 2.582,30
Revisione auto	ogni 2 anni	€ 41,32
	in 10 anni	€ 206,60
Totale		€ 8.125,68

Relativamente alla manutenzione straordinaria, il costo sostenuto per la riparazione del veicolo a seguito di un incidente è posto pari a 4125,46 €⁴⁰. Se si suppone che il numero di incidenti automobilistici in un anno sia pari a 3,2 milioni e che il numero di veicoli circolanti in Italia sia di circa 32 milioni, ogni autovettura in un anno risulta coinvolta in 0.1 incidenti. Nell'arco della propria

⁴⁰ Cfr. Sassi D., *Analisi del ciclo di vita dell'automobile*, Documento ENEA PROT-P135-010.

vita, quindi, sarà coinvolta in $0.1 \times 10 \text{ anni} = 1$ incidente. Per la manutenzione straordinaria dovuta ai danni riportati in un incidente, l'automobilista sostiene un costo pari a 4.125,46 €.

Questi valori vengono attribuiti, nel calcolo, ai cicli di vita di automobili complessivamente considerati.

- **Costo assicurazione e bollo:** è il processo per la valutazione dei costi relativi al premio assicurativo e alla tassa di circolazione (bollo). Entrambi i valori vengono valutati relativamente ad un giorno. Per l'assicurazione è stato preso come riferimento il profilo C del tariffario aggiornato al 1° semestre 2003 elaborato dall'ISVAP⁴¹. Si è considerato il valore medio dei premi stabiliti dalle compagnie di assicurazione per: *“Persona fisica di sesso maschile di 35 anni di età, con 10 anni di guida senza sinistri, che si assicura con la formula tariffaria bonus-malus, con un massimale pari a quello minimo previsto dalla legge vigente per un'automobile di 1.300 centimetri cubici di cilindrata, con un'alimentazione a benzina (L. 5 marzo 2001, n° 57, art. 1, comma 4, lett. c).”* (Profilo C). Il valore è pari a 540,37 € pari a 1,48 € al giorno.

Per la tassa di circolazione, si è fatto riferimento ai dati ACI⁴² per una vettura Lancia Y 1.2 16v catalitica, allestimento 2/2001. La scelta di una vettura 16 valvole è stata fatta per approssimare la potenza del motore a quella di un 1.300 cc, parametro di riferimento utilizzato dall'ISVAP per il calcolo del premio assicurativo, in quanto la tassa di circolazione è conteggiata sulla base dell'effettiva potenza del motore. Il valore è pari a 167,56 € pari a 0,46 € al giorno.

Questi valori vengono attribuiti, nel calcolo, al numero di autovetture effettivamente circolanti durante una giornata tipo.

⁴¹ Cfr. www.isvap.it – Sito dell'Istituto di Vigilanza sulle Imprese Assicuratrici

⁴² Cfr. www.aci.it – Sito dell'Automobil Club d'Italia – Servizio di calcolo Bollo Auto

- **Costo del parcheggio:** è il processo per la valutazione dei costi sostenuti dagli automobilisti per la sosta del proprio veicolo nel centro cittadino. All'interno dell'area oggetto di studio i posti auto a pagamento a disposizione degli utenti sono pari a 4.728⁴³. La tariffa generalmente è 1 o 1,55 €, senza limiti di tempo. Circa il 25% (1.261 posti auto) presenta una tariffa differenziata in base al numero di ore di sosta (generalmente 2 € all'ora). Si ipotizza che questo 25% venga occupato per 4 ore (valore mediato tra chi utilizza il parcheggio per 8 ore e chi lo sfrutta per 2 ore o meno). Nel restante 75% dei casi si considera la tariffa meno vantaggiosa (1.55 €). Nel prospetto seguente (Tabella 18) è indicata la ripartizione dei costi ed il totale dei ricavi.

Tabella 18 - Ricavi dai parcheggi

N° Posti	Tariffa	Utilizzo (ore)	Ricavo
3.467	€ 1,55	forfait	€ 5.373,85
1.261	€ 2,00	4	€ 10.088,00
4.728	-	-	€ 15.461,85

Il valore è stato successivamente diviso per il numero di veicoli circolanti nell'area oggetto di studio (143.752), ottenendo il parametro di riferimento utilizzato nel calcolo complessivo (0,11 €).

Questo valore è attribuito, nel calcolo, al numero di autovetture effettivamente circolanti durante una giornata tipo.

- **Costo multe:** è il processo per la valutazione dei costi sostenuti da ciascun automobilista per le contravvenzioni eventualmente elevate a suo carico dagli organi di polizia preposti al controllo del traffico cittadino. Si suppone che ciascun automobilista, ovvero ciascuna automobile circolante, sia oggetto, in un anno, di una sanzione amministrativa di importo pari a quella per divieto di sosta (32 €).

⁴³ Cfr. www.padovanet.it – Sito istituzionale del Comune di Padova – Settore Mobilità e Traffico.

Il valore utilizzato nel calcolo è pari al costo della multa al giorno (0,088 €) ed è attribuito al numero di autovetture effettivamente circolanti durante una giornata tipo.

3.4.3.4 Gli incidenti ed i costi sociali

Unitamente ai costi sostenuti da ciascun automobilista per l'utilizzo quotidiano del proprio veicolo per muoversi, sono stati presi in considerazione i costi indiretti connessi agli incidenti. I dati ISTAT⁴⁴ indicano per l'anno 2000 la presenza di 10 persone decedute e 1.149 ferite per incidenti nei quali sono state coinvolte autovetture.

- **Incidenti mortali e non mortali auto:** sulla base delle considerazioni sopra esposte si ha che, statisticamente, ogni automobile è stata causa di $7,652e-05$ morti (pari a 11 morti / 143.752 auto) e di $7,993e-03$ feriti (pari a 1.149 feriti / 143.752 auto). Entrambi questi valori devono essere rapportati all'intera vita dell'automobile, ipotizzata inizialmente di 10 anni. Pertanto durante l'arco complessivo di di utilizzo della vettura, essa è responsabile di $7,652e-04$ morti e $7,993e-02$ feriti.

Questi valori vengono attribuiti, nel calcolo, ai cicli di vita di automobili complessivamente considerati.

- **Costo per incidenti mortali:** è il processo per la valutazione dei costi sociali connessi ai decessi occorsi a seguito di incidente stradale nel quale è stata coinvolta un'automobile. La valutazione considera come costo per la collettività il mancato guadagno derivante dall'attività lavorativa della persona deceduta, rapportandolo agli effettivi anni di vita persi a seguito della morte prematura. Si ipotizza che lo stipendio medio annuo netto di un individuo sia pari a 15.493,71 €. In Tabella 19 viene esplicitato il procedimento di calcolo utilizzato per la determinazione del parametro di costo.

⁴⁴ Cfr. www.istat.it – Sito dell'Istituto Nazionale di Statistica.

Il valore è attribuito, nel calcolo, ai cicli di vita di automobili complessivamente considerati.

Tabella 19 - Costo sociale per incidenti mortali

Fattore di ponderazione per incidenti automobilistici (DALY)	44,2857
Auto circolanti nella giornata tipo	143.752
Stipendio medio annuo (€)	15.493,71
Morti/anno a seguito di incidenti stradali con auto	10
Anni di vita di un'autovettura	10
Costo sociale (€)	$(44,2857 \text{ DALY} / 143.752 \text{ auto}) \cdot 15.493,71 \text{ €} \cdot 10 \text{ morti} \cdot 10 \text{ anni} = 477,31 \text{ €}$

- **Costo per incidenti non mortali:** è il processo per la valutazione dei costi sociali connessi alle persone ferite a seguito di incidente automobilistico. La valutazione considera come costo per la collettività la spesa sostenuta dal SSN per una degenza in una struttura ospedaliera per 15 giorni. Il costo di un giorno di degenza è pari a 361,52 €. In Tabella 20 viene esplicitato il procedimento di calcolo utilizzato per la determinazione del parametro di costo

Il valore è attribuito, nel calcolo, ai cicli di vita di automobili complessivamente considerati.

Tabella 20 - Costo sociale per incidenti non mortali

Auto circolanti nella giornata tipo	14.3752
Costo per 1 giorno di degenza (€)	361,52
Feriti/anno a seguito di incidenti stradali con auto	1.149
Giorni di degenza considerati	15
Anni di vita di un'autovettura	10
Costo sociale (€)	$(1149 \text{ feriti} \cdot 10 \text{ anni}) / 143752 \text{ auto} \cdot 361,52 \text{ €} \cdot 15 \text{ giorni} = 433,44 \text{ €}$

- **Costo per tempo perso in auto:** è il processo per la valutazione dei costi individuali e sociali connessi al congestionamento del traffico cittadino. Si

suppone che ogni automobilista perda 5 minuti del suo tempo durante l'ingresso all'area oggetto di studio e nel cercare un parcheggio e altrettanti per uscire dall'area. Questo tempo rappresenta sia un costo individuale, poiché è tempo sottratto all'attività lavorativa, sia un costo per la collettività, in quanto un mancato guadagno per il cittadino rappresenta minor introiti erariali e contributivi per lo Stato. Nell'ipotesi che 15.493,71 € rappresentino lo stipendio netto medio (pari al 65% dell'importo lordo), i versamenti allo Stato ammontano a 8.263,31 €. Nelle tabelle seguenti (Tabella 21 e Tabella 22) sono esplicitati le modalità di calcolo per la determinazione dei costi individuali e sociali connessi al fenomeno del congestionamento stradale.

Tabella 21 - Costi individuali connessi al congestionamento stradale

Stipendio netto medio annuo (€)	15.493,71
Tempo perso nel traffico (min)	10
Costo individuale (€)	$(15493,71 \text{ €} / 365 \text{ giorni} / 24 \text{ h} / 60 \text{ min}) \cdot 10 \text{ min} = 0,294 \text{ €}$

Tabella 22 - Costi sociali connessi al congestionamento stradale

Tasse e contributi (€)	8.263,31
Tempo perso nel traffico (min)	10
Costo individuale (€)	$(8263,31 \text{ €} / 365 \text{ giorni} / 24 \text{ h} / 60 \text{ min}) \cdot 10 \text{ min} = 0,158 \text{ €}$

I valori sono attribuiti, nel calcolo, al numero di auto effettivamente circolanti durante la giornata tipo, nell'ipotesi che ciascuna di esse trasporti esclusivamente il conducente.

- **Disagio guida auto:** il codice non contempla, nelle banche dati di cui è fornito, alcuna sostanza che possa consentire di valutare un parametro psicologico analogo al disagio. È stato, pertanto, necessario creare una *non material emission* "disagio per la guida auto", emissione fittizia che è stata poi riferita al processo disagio guida auto. Il parametro alla base dell'emissione è calcolato

considerando un tempo (ipoteticamente il 5% del totale complessivo necessario per percorrere la distanza stabilita) che viene trasformato in DALY, ovvero anni di vita persi a seguito di una qualche forma di patologia (presumibilmente psicologica), cui viene assegnato un tasso di invalidità di 0,001 (il valore più basso consentito dal codice). Il fattore di ponderazione rappresenta il parametro in base al quale il codice attribuisce valore al disagio. In Tabella 23 è esplicitato il calcolo di tale fattore.

Il valore è attribuito, nel calcolo, ai chilometri complessivamente percorsi da tutte le autovetture circolanti durante la giornata tipo.

Tabella 23 - Fattore di ponderazione per la valorizzazione del disagio

Chilometri percorsi da ogni autovettura circolante nel centro storico (km)	3.28
Velocità media dei veicoli (fonte: Piano Urbano della Mobilità del Comune di Padova) (km/h)	23
Tempo impiegato per percorrere 3,28 km alla velocità media di 23 km/h (min)	8.06
Anni di vita persi a seguito del disagio (DALY)	$[8.6 \text{ min} / (365 \cdot 24 \cdot 60) \text{ min}] / 3.28 \text{ km} = 4,96\text{e-}06$
Disability Rating (r)	0,001
Fattore di ponderazione ($r \cdot \text{DALY}$)	4,96E-09

3.4.3.5 L'energia meccanica prodotta

I processi di combustione che avvengono all'interno del motore della vettura le consentono il movimento. L'energia da essi sviluppata rappresenta, pertanto, un guadagno per il sistema poiché essa è sfruttata per compiere attività utili. Per la determinazione dell'energia meccanica prodotta si ipotizza che essa sia direttamente proporzionale al consumo di combustibile. L'auto considerata è a benzina, con un rendimento netto del 12,6 %, secondo lo schema riportato in Figura 15⁴⁵, ed un

⁴⁵ Cfr. Sassi D., *Analisi del ciclo di vita dell'automobile*, Documento ENEA PROT-P135-010.

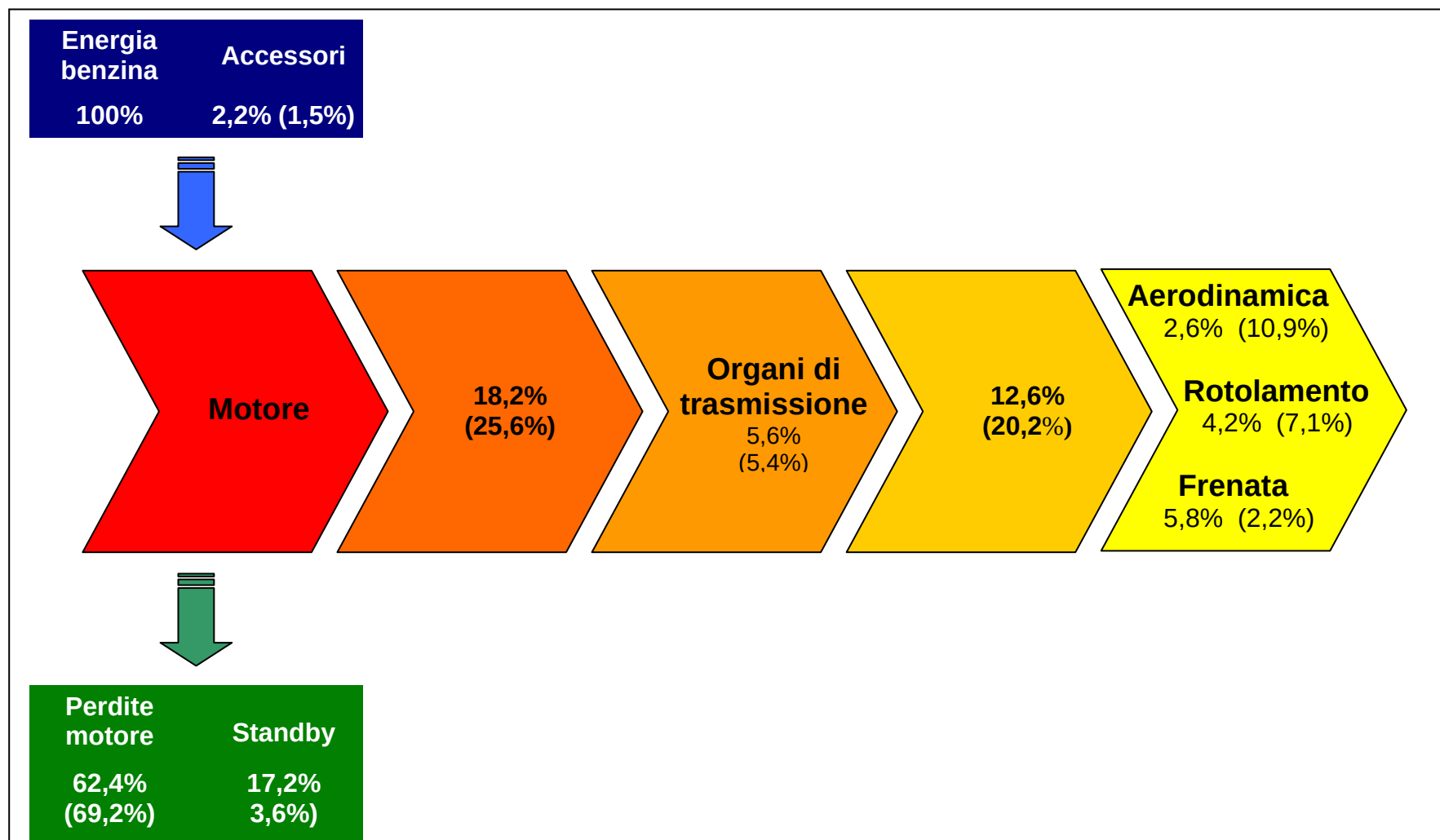
consumo di 0,072 kg di combustibile al km. Il potere calorico della benzina è posto pari a 45,8 MJ/kg. In Tabella 24 è esplicitato il calcolo dell'energia meccanica guadagnata da ogni automobile del sistema considerato per ogni km percorso.

Questo valore, posto negativo, è attribuito, nel calcolo, ai chilometri complessivamente percorsi da tutte le autovetture circolanti durante la giornata tipo.

Tabella 24 - Energia meccanica prodotta dalla combustione

Rendimento considerato (%)	12,60
Potere calorico della benzina (MJ/kg)	45,80
Consumo (kg/km)	0,072
Percorrenza (km/kg)	13,89
Energia meccanica (MJ/km)	$12,6\% \cdot 45,80 \text{ MJ/kg} \cdot 0,072 \text{ kg/km} =$ 0,4155

Figura 15 - Grafico del rendimento di una autovettura (la prima percentuale si riferisce al traffico urbano, la seconda, tra parentesi, al traffico extra urbano)



3.4.3.6 Il parco autoveicolare e le percorrenze

Secondo i dati forniti dal Settore Mobilità del Comune di Padova⁴⁶, nella giornata tipo all'interno dell'area oggetto di studio transitano in entrata e in uscita 287.504 autovetture. Questo valore rappresenta nello studio il numero di vetture rilevate ($2n_{\text{auto}} = 287.504$). Poiché $2n_{\text{auto}}$ individua i veicoli che attraversano in entrambi i sensi le barriere di rilevazione dei flussi, il numero di auto circolanti è rappresentato dalla metà di $2n_{\text{auto}}$ ($n_{\text{auto}} = 143.752$). Si ipotizza che la distribuzione di n_{auto} relativamente ai carburanti utilizzati sia analoga a quella individuata dall'ACI per il parco veicolare complessivo del Comune di Padova nell'anno 2000. La suddivisione delle vetture per tipologia di carburante è, pertanto, la seguente (Tabella 25):

Tabella 25 - Distribuzione autovetture per carburante nel comune di Padova (Fonte: ACI)

Carburante	%	Auto
Benzina rossa	48,0%	69.001
Benzina verde	33,3%	47.869
Gasolio	13,8%	19.838
GPL	4,0%	5.750
Metano	0,9%	1.294
Totale	100,0%	143.752

Si ipotizza che ogni veicolo percorra una distanza pari al diametro del cerchio equivalente all'area oggetto di studio (6,8 kmq), maggiorato del 15% per tener conto di alcuni fattori come la strada necessaria a trovare parcheggio.

Secondo le ipotesi iniziali, un'autovettura nell'arco della propria vita percorre complessivamente 150.000 km; è così possibile calcolare il numero di cicli di vita necessari a modellare complessivamente le auto circolanti in un giorno feriale nell'area oggetto di studio (Tabella 26).

⁴⁶ Cfr. Comune di Padova - Settore Trasporti e Mobilità, Indagine cordonale 1997, aggiornata al 2000.

Tabella 26 - LCA Auto complessivi

Area oggetto di studio (kmq)	6,800
Raggio del cerchio equivalente (km)	1,425
Diametro del cerchio equivalente (km)	2,850
Diametro maggiorato del 15% (km)	3,278
Auto circolanti (n_{auto})	143.752
Km totali di vita di un'auto (km)	150.000
LCA complessivi	(143.752 auto / 150.000 km) · 3,278 km = 3,1415

3.4.4 Caratterizzazione e Valutazione di LCA Traffico Feriale Auto

Di seguito vengono presentati il Product Stage relativo al ciclo di vita che modella il traffico automobilistico nell'area oggetto di studio (Tabella 27), la caratterizzazione (Tabella 28) e il calcolo complessivo dei danni generati (Tabella 29)⁴⁷.

3.4.4.1 La caratterizzazione di LCA Traffico Feriale Auto

Dall'analisi della caratterizzazione (Tabella 28 e Figura 16) è possibile trarre alcune considerazioni:

- Il **costo individuale totale**, inteso come costo complessivo sostenuto da tutti i soggetti privati che utilizzano i mezzi di trasporto considerati nell'arco della giornata, vale 466.000 €. Su di esso incide maggiormente il costo per l'assicurazione e il bollo (279.000 €), il costo per il tempo perso (42.300 €) e il costo per la benzina (40.700 €);
- Il **costo sociale** è di 25.200 € dovuto principalmente al costo per il tempo perso in auto (22.700 €) e a quello dovuto agli incidenti mortali (1.250 €) e non mortali (1.130 €), cui si contrappone il guadagno del processo di rottamazione (-334 €);

⁴⁷ Per una definizione delle unità di misura adottate in fase di caratterizzazione e valutazione, cfr. § 1.4.5.

- Il danno dovuto agli **incidenti** vale 0,101 DALY che corrisponde a 36,87 giorni di vita persi dalle persone che in un giorno feriale entrano ed escono in auto dall'area cordonale di Padova. A tale valore il contributo maggiore è dato dagli incidenti che hanno provocato morti (0,0968 DALY);
- Il danno dovuto al **disagio** vale 0,00234 DALY che corrisponde a 20,5 ore perse dalle persone che in un giorno feriale entrano ed escono in auto dall'area cordonale di Padova;
- Nella categoria di danno **Human Health** (che, se si esclude le categorie di impatto Incidenti e Disagio, presenta complessivamente un danno pari a 0,112 DALY, pari a 40,9 giorni) il danno maggiore (0,0737 DALY) è dovuto alla categoria di impatto Respiratory Inorganics. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto alle auto non catalitiche (0,0334 DALY) a causa della emissione di 250 kg di NO_x prodotto dalla combustione della benzina. Un contributo notevole è dato anche dalle auto catalitiche (0,0255 DALY). Tali tipi di auto danno il contributo maggiore perché rappresentano complessivamente oltre l'80% del parco veicolare, in particolare le auto catalitiche il 48% e quelle non catalitiche il 33%. Dall'analisi risulta che il danno dovuto alle auto non catalitiche è circa 1,3 volte quello delle catalitiche benché esse siano circa il 30% in meno;
- Nella categoria di danno **Ecosystem Quality** (10.800 PDF·m²·y) il danno maggiore (4.180 PDF·m²·y) è dovuto alla categoria di impatto Ecotoxicity. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto alla fabbricazione dell'auto (2.040 PDF·m²·y) a causa della emissione di 656 g di Zn in aria, ai processi di combustione delle auto catalitiche (846 PDF·m²·y) e delle auto non catalitiche (587 PDF·m²·y). Entrambe le altre categorie di impatto, Acidification/Eutrophication e Land Use, presentano danni dello stesso ordine di grandezza della categoria Ecotoxicity con, rispettivamente, 3.470 e 3.150 PDF·m²·y;

- Nella categoria di danno **Resources** (132.000 MJ Surplus) il danno maggiore (127.000 MJ surplus) è dovuto alla categoria di impatto Fossil Fuels. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto alle auto catalitiche (71.900 MJ surplus) a causa del consumo di 19.700 kg di crude oil ETH. Un contributo notevole, pari a quasi il 40% del totale, è dato anche dalle auto non catalitiche (49.900 MJ surplus).

3.4.4.2 La valutazione di LCA Traffico Feriale Auto

Dall'analisi della valutazione (Tabella 29 e Figura 17, Figura 18 e Figura 19) è possibile effettuare alcune considerazioni:

- Il **danno totale** vale 9.660 Pt di cui il 37,26%, pari a 3.600 Pt, è dovuto alle auto catalizzate e il 30,04%, pari a 2.900 Pt, è dovuto alle auto non catalizzate. Un'impatto assai significativo è dovuto agli incidenti mortali con il 19,44%, pari a 1.880;
- Il danno è dovuto principalmente alla categoria di danno Resources (45,82% sul totale) e quella di impatto Fossil Fuels (44,05% sul totale);
- Nella categoria di danno Resources si ha anche un guadagno ambientale di -813 Pt (pari a circa il 18% del totale della categoria di danno e 8,5% sul danno totale) dovuto all'energia meccanica prodotta (-12,33%) e al fine vita (rottamazione) (6,03%).

Tabella 27 - LCA Traffico Feriale Auto PD

SimaPro 5.0		Product stages	Date: 28/03/2003
Project: traffico Padova			Time: 14.58.54
Life cycle:			
Name	Comment		
Ica traffico feriale (auto) PD	Dati dell'indagine cordonale 1997 (aggiornati al 2000): auto rilevate: 287504 (flusso rilevato su 16 strade di accesso al centro storico) auto circolanti: 143752 area oggetto di studio: 6.380.000 mq (pari a 6,38 kmq) raggio cerchio equivalente: 1,425 km raggio cerchio equivalente + 15%: 1,639 km diametro del cerchio equivalente + 15%: 3,278 km Cicli di vita di auto totali: (143.752 auto / 150.000 km) * 3,278 km = 3.1415		
Assembly	Amount	Unit	Comment
auto PD	3,1415	p	(143.752 auto / 150.000 km) * 3,278 km = 3.1415
Processes	Amount	Unit	Comment
Passenger car (1p) petrol cat PD	226185,1	km	48,0 % * 143.752 * 3,278 km = 226185,1 (auto catalizzate)
Passenger car (1p) petrol PD	156915,9	km	33,3 % * 143.752 * 3,278 km = 156915,9 (auto non catalizzate)
Car (lpg) I PD	18848,8	km	4,0 % * 143.752 * 3,278 km = 18848,8 (auto a GPL)
Car (diesel) I PD	65028,2	km	13,8 % * 143.752 * 3,278 km = 65028,2 (auto a diesel)
Car (natural gas) PD	4241,7	km	0,9 % * 143.752 * 3,278 km = 4241,7 (auto a metano)
costo benzina auto PD	383101,1	km	81,3 % * 143752 * 3,278 km = 383101,1 (km per i quali si usa il prezzo €/kg di benzina)
costo gpl auto PD	18848,8	km	4,0 % * 143752 * 3,278 km = 18848,8 (km per i quali si usa il prezzo €/kg di GPL)
costo diesel auto PD	65028,2	km	13,8 % * 143752 * 3,278 km = 65028,2 (km per i quali si usa il prezzo €/kg di gasolio)
costo gas auto PD	4241,7	km	0,9 % * 143752 * 3,278 km = 4241,7 (km per i quali si usa il prezzo €/kg di metano)
costo di manutenzione auto PD	3,1415	p	(143.752 auto / 150.000 km) * 3,278 km = 3.1415 (auto per le quali si calcola il costo della manutenzione)
costo assicurazione bollo auto PD	143752	p	287504 auto / 2 = 143.752 auto (auto per le quali si calcola il costo di bollo e assicurazione) = auto circolanti
costo parcheggio auto PD	143752	p	287504 auto / 2 = 143.752 auto (auto per le quali si calcola il costo di parcheggio) = auto circolanti
costo multe auto PD	143752	p	287504 auto / 2 = 143.752 auto (auto per le quali si calcola il costo delle multe) = auto circolanti
costo per incidenti mortali auto PD	3,1415	p	(143.752 auto / 150.000 km) * 3,278 km = 3.1415 auto (auto per le quali valutare i costi dovuti ad incidenti mortali)
costo per incidenti non mortali auto PD	3,1415	p	(143.752 auto / 150.000 km) * 3,278 km = 3.1415 auto (auto per le quali valutare i costi dovuti ad incidenti non mortali)
costo per tempo perso in auto PD	143752	p	287504 auto / 2 = 143.752 auto (auto per le quali valutare i costi dovuti al tempo perso in auto)
incidenti mortali auto PD	3,1415	p	(143.752 auto / 150.000 km) * 3,278 km = 3.1415 auto (auto per le quali valutare il numero incidenti mortali complessivi di una giornata)
incidenti non mortali auto PD	3,1415	p	(143.752 auto / 150.000 km) * 3,278 km = 3.1415 auto (auto per le quali valutare il numero incidenti non mortali complessivi di una giornata)
disagio per guida dell'auto PD	471219,1	km	143.752 auto * 3,278 km = 471219,1 km (km per i quali valutare gli effetti del disagio provato dal conducente durante la guida dell'auto)
Energia meccanica auto (benzina) PD	471219,1	km	143.752 auto * 3,278 km = 471219,1 km (km per i quali valutare il guadagno derivato dalla produzione di energia meccanica necessaria al movimento dei veicoli)
Waste/Disposal scenario	Comment		
disposal scenario auto PD	Processi di rottamazione		

Parte II – Capitolo 3

Tabella 28 - Caratterizzazione LCA traffico feriale Auto PD

SimaPro 5.0	LCIA Profile	Date:	28/03/2003									
Project: traffico Padova		Time:	12.46.43									
Method:		Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E										
Value:		Impact indicator										
Per impact category:		Yes										
Impact category	Unit	Total	+auto PD	+Passenger car (1p) petrol cat PD	+Passenger car (1p) petrol PD	+car (lpg) I PD	+car (diesel) I PD	+car (natural gas) PD	+costo benzina auto PD	+costo gpl auto PD	+costo diesel auto PD	+costo gas auto PD
Carcinogens	DALY	5,02E-03	5,21E-04	2,13E-03	1,48E-03	4,94E-08	5,76E-06	x	x	x	x	x
Respiratory organics	DALY	7,01E-04	2,69E-05	3,20E-04	3,94E-04	1,69E-05	2,45E-05	0,00000235	x	x	x	x
Respiratory inorganics	DALY	7,37E-02	8,30E-03	2,55E-02	3,34E-02	1,80E-03	5,09E-03	0,0000319	x	x	x	x
Climate change	DALY	3,27E-02	1,40E-03	1,65E-02	1,15E-02	8,02E-04	2,72E-03	0,0000311	x	x	x	x
Radiation	DALY	1,59E-05	x	9,37E-06	6,50E-06	x	x	x	x	x	x	x
Ozone layer	DALY	1,64E-04	7,40E-07	9,59E-05	6,65E-05	x	x	x	x	x	x	x
Ecotoxicity	PAF*m2yr	4,18E+04	2,04E+04	8,46E+03	5,87E+03	4,13E-03	6,82E+03	x	x	x	x	x
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	3,47E+03	2,54E+02	1,08E+03	1,73E+03	1,09E+02	2,91E+02	1,78	x	x	x	x
Land use	PDF*m2yr	3,15E+03	3,07E+02	1,13E+03	7,87E+02	1,92E+02	6,65E+02	16,4	x	x	x	x
Minerals	MJ surplus	5,10E+03	4,22E+03	6,15E+02	4,27E+02	3,69E-01	2,33E+00	x	x	x	x	x
Fossil fuels	MJ surplus	1,27E+05	9,62E+03	7,19E+04	4,99E+04	4,22E+03	1,49E+04	128	x	x	x	x
Costi individuali	euro	4,66E+05	3,22E+04	x	x	x	x	x	40700	1130	4040	138
Incidenti	DALY	1,01E-01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Costi sociali	euro	2,52E+04	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Disagio	DALY	2,34E-03	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

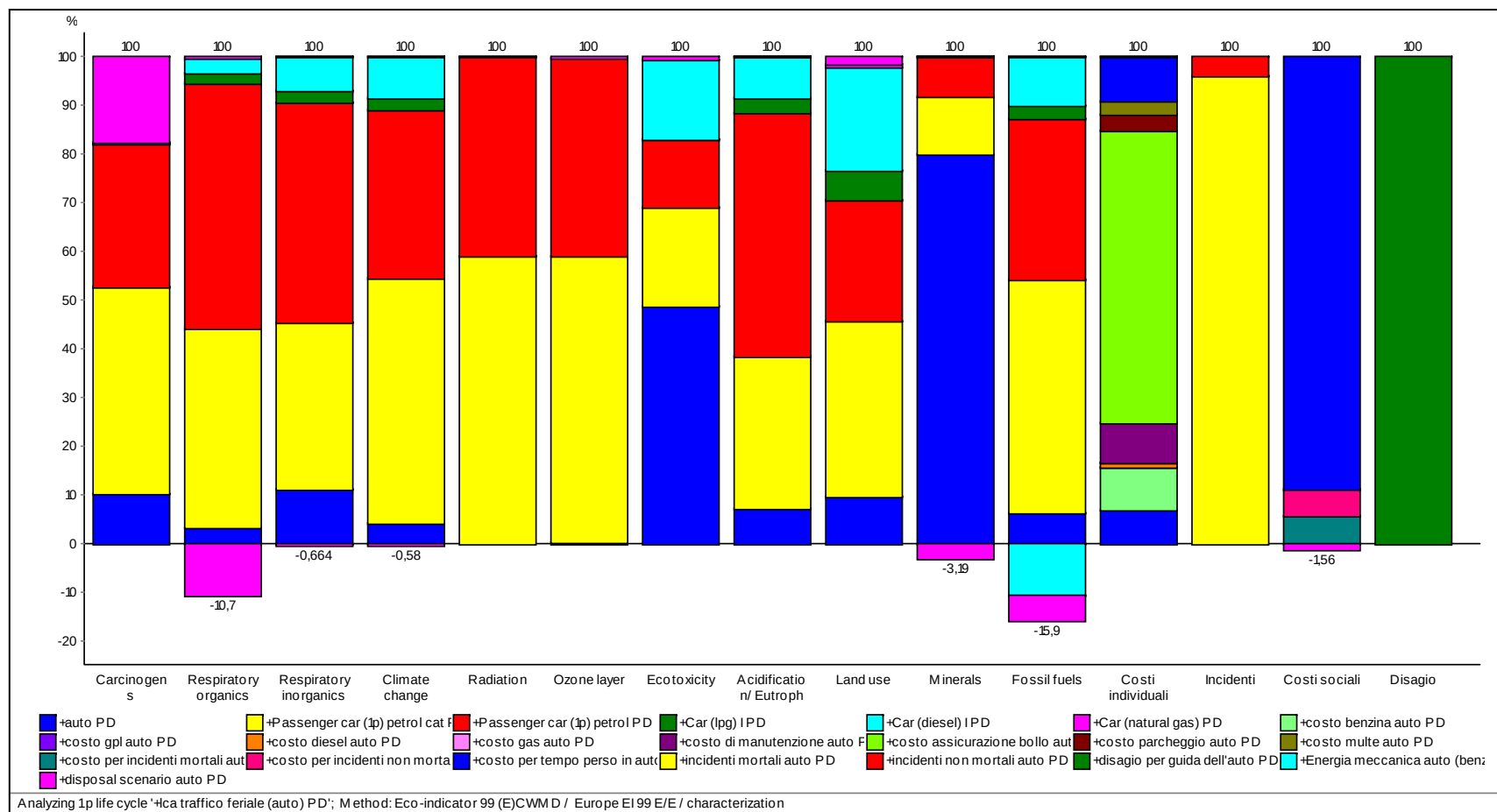
Parte II – Capitolo 3

Tabella 28 - Caratterizzazione LCA traffico feriale Auto PD (continua)

Impact category	Unit	+costo di manutenzione auto PD	+costo assicurazione bollo auto PD	+costo parcheggio auto PD	+costo multe auto PD	+costo per incidenti mortal auto PD	+costo per incidenti non mortal auto PD	+costo per tempo perso in auto PD	+incidenti mortal auto PD	+incidenti non mortal auto PD	+disagio per guida dell'auto PD	+Energia meccanica auto (benzina) PD	+disposal scenario auto PD
Carcinogens	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	8,88E-04
Respiratory organics	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-8,43E-05
Respiratory inorganics	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-4,93E-04
Climate change	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-1,91E-04
Radiation	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	6,84E-10
Ozone layer	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	4,41E-07
Ecotoxicity	PAF*m2yr	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2,21E+02
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1,52E+00
Land use	PDF*m2yr	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	5,23E+01
Minerals	MJ surplus	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-1,68E+02
Fossil fuels	MJ surplus	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-16300	-7,77E+03
Costi individuali	euro	38400	279000	15800	12700	x	x	42300	x	x	x	x	3,24E+02
Incidenti	DALY	x	x	x	x	x	x	x	0,0968	0,00405	x	x	x
Costi sociali	euro	x	x	x	x	1500	1360	22700	x	x	x	x	-4,00E+02
Disagio	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0,00234	x	x

Parte II – Capitolo 3

Figura 16 - Caratterizzazione LCA traffico feriale Auto PD



Parte II – Capitolo 3

Tabella 29 - Valutazione LCA traffico feriale Auto PD

SimaPro 5.0		LCIA Profile		Date:	28/03/2003								
Project: traffico Padova				Time:	12.48.37								
Title:													
Method:		Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E											
Value:		Weighted indicator											
Per impact category:		Yes											
Impact category	Unit	Total	+auto PD	+Passenger car (1p) petrol cat PD	+Passenger car (1p) petrol PD	+car (lpg) I PD	+car (diesel) I PD	+car (natural gas) PD	+costo benzina auto PD	+costo gpl auto PD	+costo diesel auto PD	+costo gas auto PD	
Total	Pt	9,66E+03	9,18E+02	3,60E+03	2,90E+03	2,22E+02	8,14E+02	7,35	0	0	0	0	
Carcinogens	Pt	9,75E+01	1,01E+01	4,13E+01	2,87E+01	9,60E-04	1,12E-01	x	x	x	x	x	
Respiratory organics	Pt	1,36E+01	5,21E-01	6,22E+00	7,65E+00	3,29E-01	4,75E-01	0,0456	x	x	x	x	
Respiratory inorganics	Pt	1,43E+03	1,61E+02	4,95E+02	6,49E+02	3,49E+01	9,89E+01	0,62	x	x	x	x	
Climate change	Pt	6,36E+02	2,72E+01	3,21E+02	2,22E+02	1,56E+01	5,28E+01	0,604	x	x	x	x	
Radiation	Pt	3,08E-01	x	1,82E-01	1,26E-01	x	x	x	x	x	x	x	
Ozone layer	Pt	3,17E+00	1,44E-02	1,86E+00	1,29E+00	x	x	x	x	x	x	x	
Ecotoxicity	Pt	4,08E+02	1,99E+02	8,25E+01	5,72E+01	4,03E-05	6,65E+01	x	x	x	x	x	
Acidification/ Eutrophication	Pt	3,38E+02	2,48E+01	1,06E+02	1,69E+02	1,06E+01	2,84E+01	0,174	x	x	x	x	
Land use	Pt	3,08E+02	3,00E+01	1,11E+02	7,67E+01	1,88E+01	6,48E+01	1,6	x	x	x	x	
Minerals	Pt	1,71E+02	1,42E+02	2,07E+01	1,43E+01	1,24E-02	7,82E-02	x	x	x	x	x	
Fossil fuels	Pt	4,26E+03	3,23E+02	2,42E+03	1,68E+03	1,42E+02	5,02E+02	4,31	x	x	x	x	
Costi individuali	Pt	0,00E+00	0,00E+00	x	x	x	x	x	0	0	0	0	
Incidenti	Pt	1,96E+03	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Costi sociali	Pt	0,00E+00	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Disagio	Pt	4,54E+01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

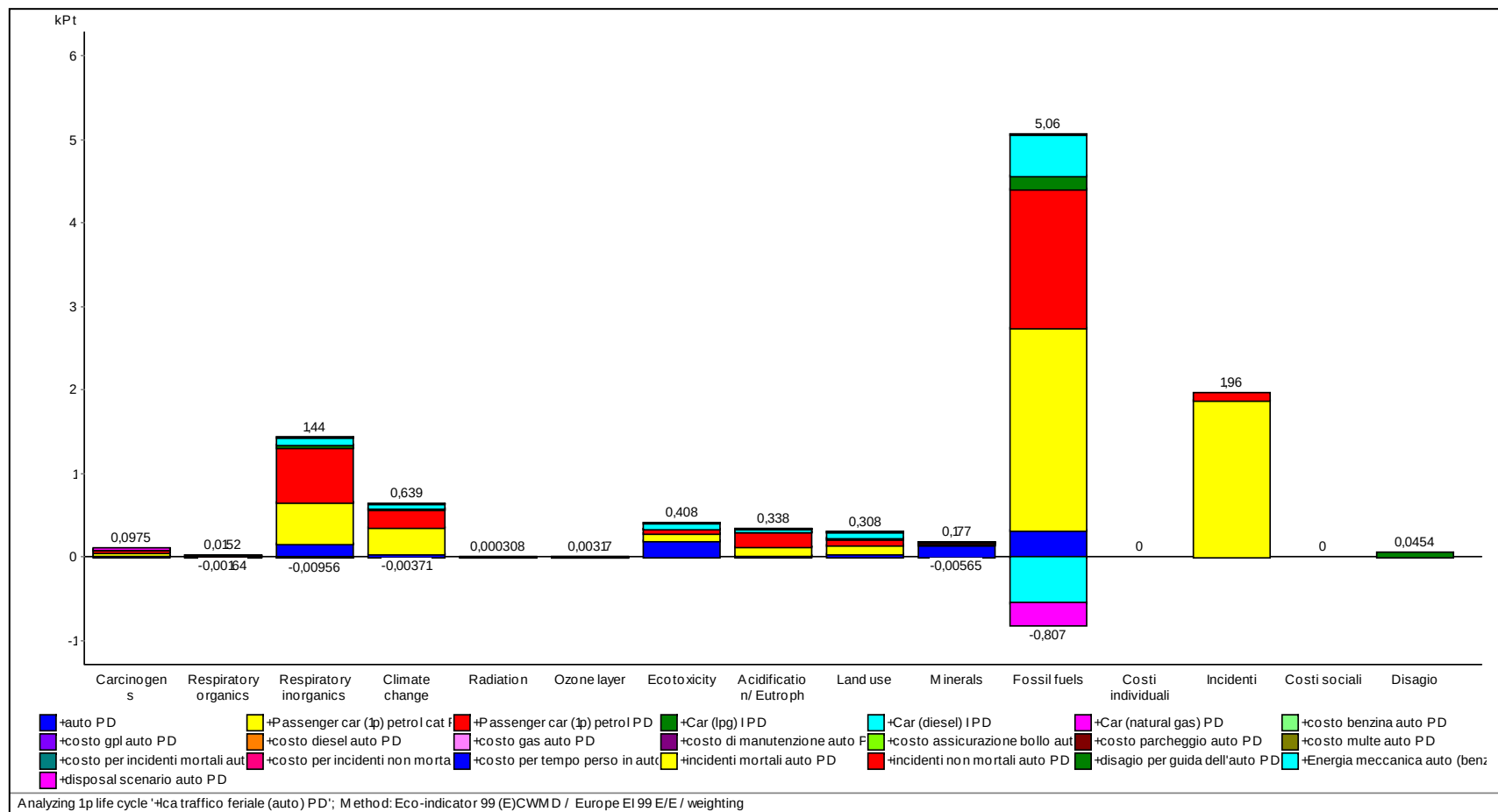
Parte II – Capitolo 3

Tabella 29 - Valutazione LCA traffico feriale Auto PD (continua)

Impact category	Unit	+costo di manutenzione auto PD	+costo assicurazione bollo auto PD	+costo parcheggio auto PD	+costo multe auto PD	+costo per incidenti mortali auto PD	+costo per incidenti non mortali auto PD	+costo per tempo perso in auto PD	+incidenti mortali auto PD	+incidenti non mortali auto PD	+disagio per guida dell'auto PD	+Energia meccanica auto (benzina) PD	+disposal scenario auto PD
Total	Pt	0	0	0	0	0	0	0	1880	78,5	45,4	-546	-2,57E+02
Carcinogens	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1,72E+01
Respiratory organics	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-1,64E+00
Respiratory inorganics	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-9,56E+00
Climate change	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-3,71E+00
Radiation	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1,33E-05
Ozone layer	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	8,55E-03
Ecotoxicity	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2,16E+00
Acidification/ Eutrophication	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1,48E-01
Land use	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	5,10E+00
Minerals	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-5,65E+00
Fossil fuels	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-546	-2,61E+02
Costi individuali	Pt	0	0	0	0	x	x	0	x	x	x	x	0,00E+00
Incidenti	Pt	x	x	x	x	x	x	x	1880	78,5	x	x	x
Costi sociali	Pt	x	x	x	x	0	0	0	x	x	x	x	0,00E+00
Disagio	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	45,4	x	x

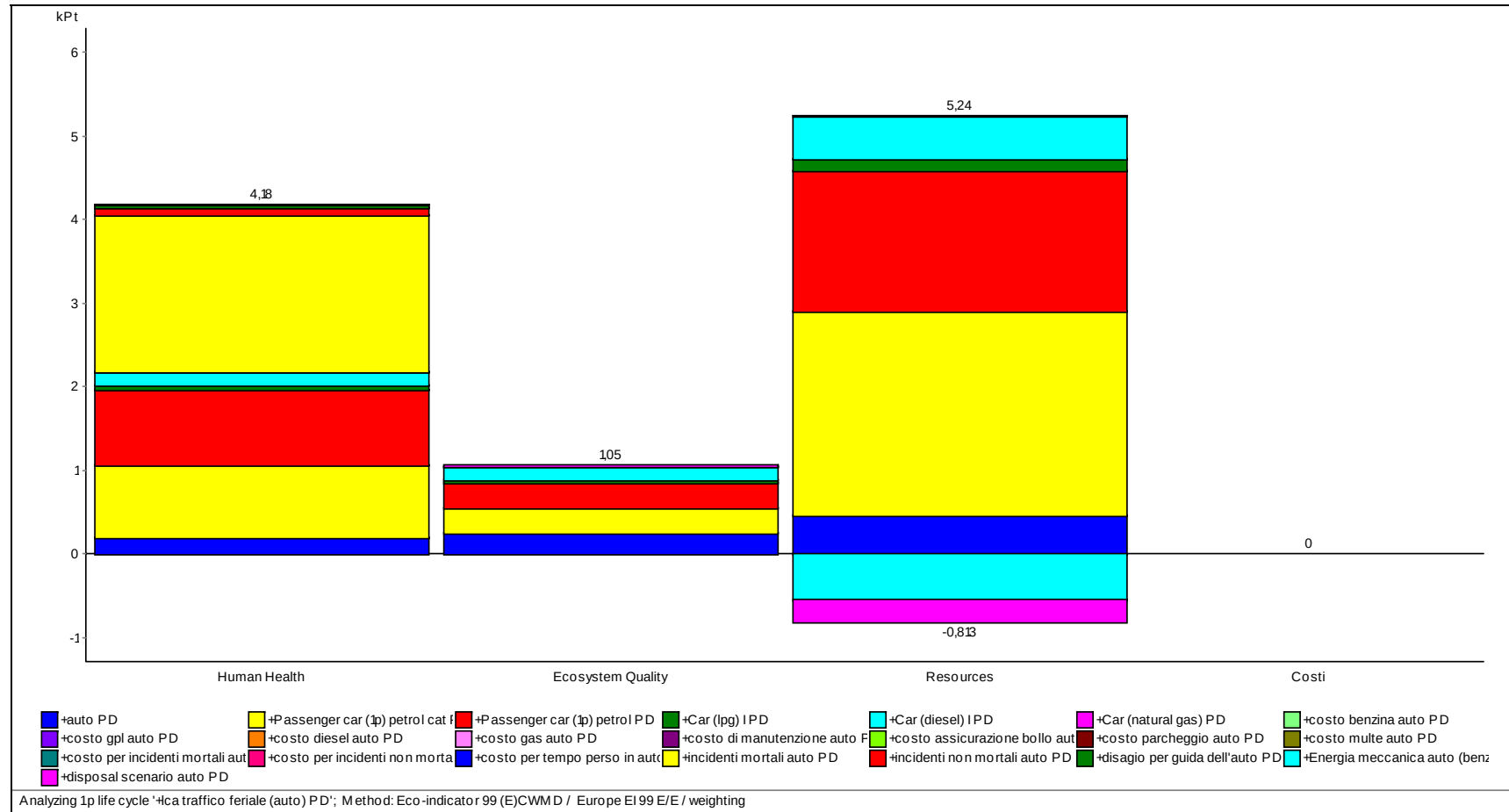
Parte II – Capitolo 3

Figura 17 - Valutazione LCA traffico feriale Auto PD



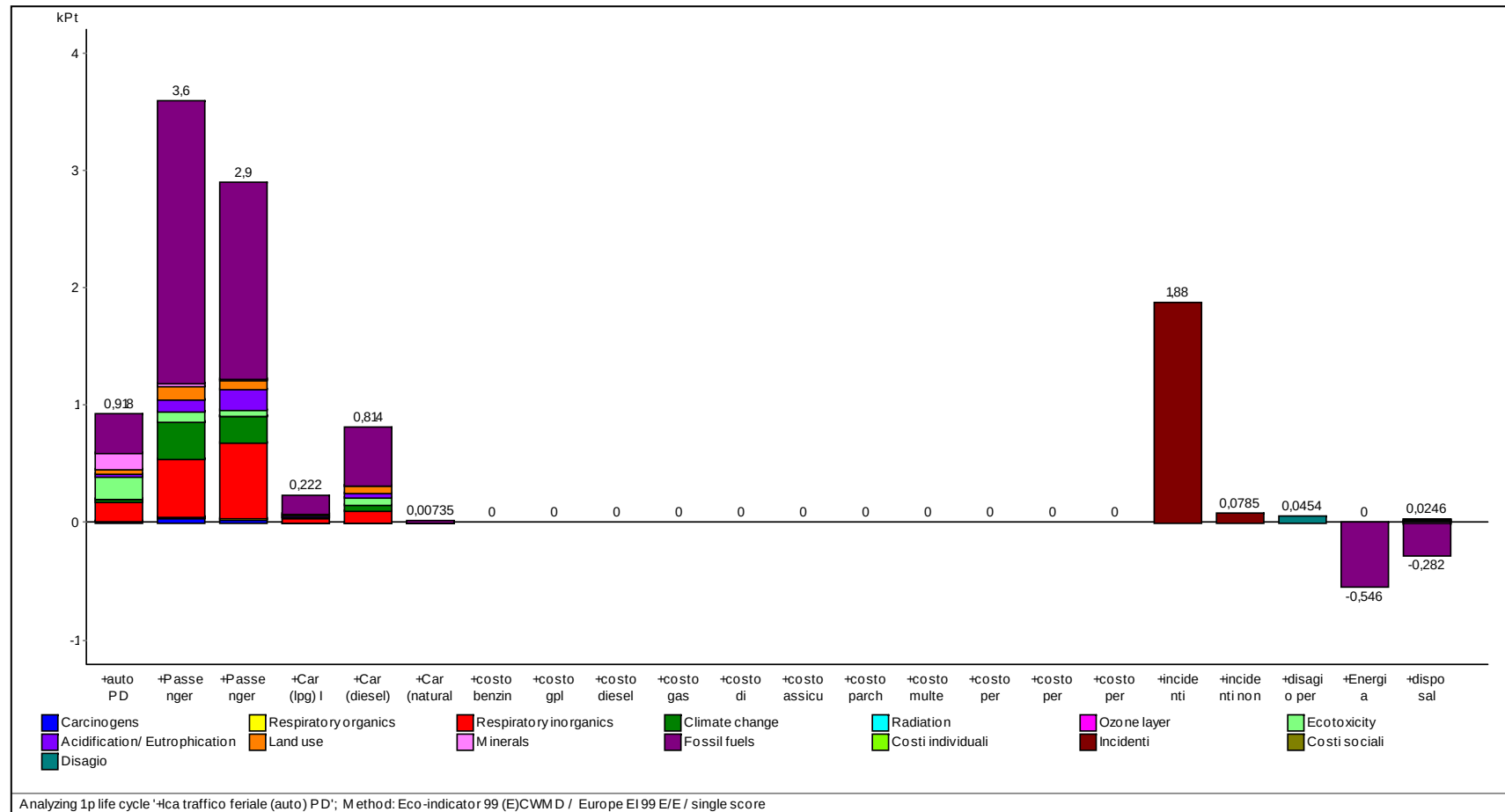
Parte II – Capitolo 3

Figura 18 - Valutazione LCA traffico feriale Auto PD, per categoria di Danno



Parte II – Capitolo 3

Figura 19 - Valutazione LCA traffico feriale Auto PD, in base alle Componenti



3.5 LCA del traffico feriale dei motoveicoli

3.5.1 *Introduzione*

Il traffico urbano è caratterizzato tanto dalla presenza di ciclomotori che da quella delle motociclette. Quasi il 40% del totale dei veicoli a 2 ruote rilevati nel comune di Padova, nell'arco della giornata tipo, è costituito da mezzi con cilindrata inferiore a 125 cc. Si è, quindi, fatta la scelta di considerare tutto il parco veicolare a 2 ruote come se fosse costituito da ciclomotori.

In questo paragrafo verrà descritto il procedimento utilizzato per la realizzazione dell'analisi del ciclo di vita del traffico riferibile ai soli motoveicoli. Si procederà seguendo la struttura utilizzata dal codice al fine di dare una migliore leggibilità dei risultati.

3.5.2 *Assembly dello scooter*

3.5.2.1 Le caratteristiche generali

Il motoveicolo di riferimento, sulla base del quale è stato sviluppato il modello, è uno scooter di produzione nazionale⁴⁸, del peso complessivo di circa 95 kg.

Si è ipotizzata una vita media del veicolo di 5 anni, con una percorrenza complessiva massima di 30.000 km. Il prezzo è fissato in 2.182 € e nell'*assembly* esso è posto sotto il processo con nome costo produzione scooter SR 50 PD.

In Tabella 30 è riportato l'*assembly* Scooter SR 50 CAT PD con cui si rappresenta la produzione del ciclomotore all'interno del codice.

3.5.2.2 La caratterizzazione e la valutazione dell'assembly Scooter SR 50 CAT

Dai risultati della caratterizzazione (Tabella 31 e Figura 20) si può osservare⁴⁹:

- Nella categoria di danno **Human Health**, il danno totale è pari a 5,56e-04 DALY.
Il danno maggiore (4,03e-04 DALY) è dovuto alla categoria di impatto

⁴⁸ Cfr. Dati Aprilia.

⁴⁹ Per una definizione delle unità di misura adottate in fase di caratterizzazione e valutazione, cfr. § 1.4.5.

Respiratory Inorganics. I contributi maggiori a tale danno derivano dai processi di produzione della carrozzeria ($1,17 \times 10^{-4}$ DALY), del motore ($8,36 \times 10^{-5}$ DALY) e dei cerchi ($7,82 \times 10^{-5}$ DALY). Il danno dovuto alla produzione della carrozzeria è

Tabella 30 - Assembly Scooter SR 50 CAT PD

SimaPro 5.0		Product stages	Date:	05/03/2003
Project: traffico Padova			Time:	10.52.42
Assembly:				
Name		Comment		
+scooter SR 50 CAT PD		Peso complessivo 96.1 kg		
Materials/Assemblies	Amount	Unit	Comment	
scooter amortizzatore post.	1	p	1 kg	
scooter batteria	1	p	2 kg	
scooter carrozzeria	1	p	20 kg	
scooter cerchi	1	p	12.4 kg	
scooter forcella	1	p	5 kg	
scooter freno	1	p	4 kg	
scooter gomme	1	p	5 kg	
scooter imp.raffreddam.	1	p	1 kg	
scooter impianto elettrico	1	p	1.4 kg	
scooter manubrio	1	p	1 kg	
scooter marmitta	1	p	5 kg	
scooter motore	1	p	24 kg	
scooter selle	1	p	1.2 kg	
scooter serbatoi	1	p	0.6 kg	
scooter telaio	1	p	11 kg	
scooter viti, dadi, cuscin.	1	p	1.5 kg	
Processes	Amount	Unit	Comment	
verniciatura	2	m2		
assemblaggio scooter	95	kg		
costo produzione scooter SR 50	1	p		

Parte II – Capitolo 3

Tabella 31 - Caratterizzazione dell'assembly Scooter SR 50 CAT PD

SimaPro 5.0	LCIA Profile	Date:	04/03/2003								
Project: traffico Padova		Time:	18.51.25								
Method:	Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E										
Value:	Impact indicator										
Per impact category:	Yes										
Impact category	Unit	Total	scooter amortizzato re post.	scooter batteria	scooter carrozzeria	scooter cerchi	scooter forcella	scooter freno	scooter gomme	scooter imp.raffred dam.	scooter impianto elettrico
Carcinogens	DALY	4.19E-5	7.34E-8	5.93E-6	1.01E-6	1.36E-5	1.67E-6	2.35E-6	5.5E-7	1.13E-6	1.3E-6
Respiratory organics	DALY	1.57E-6	1.59E-9	3.79E-8	6.34E-7	3.05E-7	3.75E-8	9.1E-8	1.88E-7	5.57E-9	4.57E-8
Respiratory inorganics	DALY	0.000403	1.03E-6	3.34E-6	0.000117	7.82E-5	1.33E-5	1.88E-5	2.91E-5	7,00E-06	1.41E-5
Climate change	DALY	0.000109	2.36E-7	1.1E-6	2.07E-5	3.21E-5	4.31E-6	6.43E-6	4.12E-6	2.44E-6	2.59E-6
Radiation	DALY	1.22E-8	x	2.04E-9	x	x	x	x	x	x	1.02E-8
Ozone layer	DALY	2.68E-8	1.59E-11	1.01E-9	x	6.28E-9	7.08E-10	1.89E-9	x	4.42E-10	2.97E-9
Ecotoxicity	PAF*m2yr	908,00	2,90E-01	1,21E+02	4,97E-01	5,65E+02	2,46E+00	3,80E+00	3,58E-01	3,19E-01	2,04E-01
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	0,50	2,94E-01	7,85E-02	1,79E-01	8,82E-02	2,80E-01	3,91E-01	4,44E-02	1,21E-01	2,83E-01
Land use	PDF*m2yr	0,54	5,43E-01	4,76E-01	3,95E-01	1,97E-01	5,60E-01	5,54E-01	7,50E-02	2,73E-01	8,54E-02
Minerals	MJ surplus	103,00	4,07E-01	2,33E-01	4,31E-01	1,17E+00	1,72E-01	2,13E-01	4,39E-01	1,40E-01	1,21E+00
Fossil fuels	MJ surplus	578,00	4,58E-02	2,68E-01	1,73E+02	1,21E+02	1,90E+01	1,21E+00	1,59E+00	3,85E-01	5,85E-01
Costi individuali	euro	2.18E3	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Incidenti	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Costi sociali	euro	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Disagio	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Parte II – Capitolo 3

Tabella 31 - Caratterizzazione dell'assembly Scooter SR 50 CAT PD (continua)

Impact category	Unit	scooter manubrio	scooter marmitta	scooter motore	scooter selle	scooter serbatoi	scooter telaio	scooter viti, dadi, cuscin.	verniciatura	assemblaggio scooter	costo produzione scooter SR 50
Carcinogens	DALY	8.5E-8	1.21E-6	1.06E-5	6.91E-8	1.01E-7	1.5E-6	2.13E-7	2.2E-8	4.81E-7	x
Respiratory organics	DALY	1.67E-9	1.89E-8	1,00E-07	8.92E-9	1.32E-8	2.01E-8	4.17E-9	4.87E-8	6.36E-9	x
Respiratory inorganics	DALY	1.45E-6	1.07E-5	8.36E-5	4.54E-6	1.09E-6	1.3E-5	3.63E-6	1.09E-6	1.98E-6	x
Climate change	DALY	2.87E-7	1.65E-6	2.61E-5	1.01E-6	3.58E-7	3.57E-6	7.18E-7	8.24E-7	6.41E-7	x
Radiation	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ozone layer	DALY	3.08E-11	5.2E-9	4.5E-9	9.32E-11	6.24E-10	1.08E-9	7.71E-11	6.28E-11	1.81E-9	x
Ecotoxicity	PAF*m2yr	2,94E-01	9,79E-02	2,21E+00	0.041	6,44E-01	2,33E-01	4,58E-02	0.047	4,65E-02	x
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	3,63E-01	2,31E-01	1,08E-01	1,04E-02	3,30E-01	3,67E-01	9,10E-02	3,16E-01	4,19E-01	x
Land use	PDF*m2yr	6,71E-01	4,14E-01	1,92E-01	3.05E-8	0.012	4,24E-02	1,67E-01	0.000545	x	x
Minerals	MJ surplus	1,48E-01	1,03E-01	9,60E-01	1,12E-01	2,32E-01	5,14E-02	3,69E-01	0.00146	x	x
Fossil fuels	MJ surplus	4,72E-02	3,81E-01	1,07E+02	3,93E-01	1,81E-01	8,40E-01	1,70E-01	2,09E-01	1,38E-01	x
Costi individuali	euro	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2.18E3
Incidenti	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Costi sociali	euro	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Disagio	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Parte II – Capitolo 3

Tabella 32- Valutazione dell'assembly Scooter SR 50 CAT PD

SimaPro 5.0		LCIA Profile		Date:	04/03/2003		Time:		0,786319			
Project: traffico Padova												
Method:		Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E										
Value:		Weighted indicator										
Per impact category:		Yes										
Impact category	Unit	Total	scooter amortizzatore post.	scooter batteria	scooter carrozzeria	scooter cerchi	scooter forcella	scooter freno	scooter gomme	scooter imp.raffreddam.	scooter impianto elettrico	
Total	Pt	4,50E+01	6,78E-01	9,44E-02	9,00E+00	5,46E-01	1,00E-01	1,33E-01	8,40E-02	4,63E-01	1,05E-01	
Carcinogens	Pt	5,65E-01	0.00142	7,99E-02	1,36E-01	1,83E-01	2,26E-01	3,16E-01	7,43E-02	1,52E-01	1,74E-01	
Respiratory organics	Pt	2,11E-01	3.09E-5	0.000735	8,54E-02	0.00592	0.000727	0.00177	0.00365	0.000108	0.000888	
Respiratory inorganics	Pt	3,49E-01	1,38E-01	4,50E-01	1,02E-01	7,78E-02	1,79E-01	2,53E-01	3,92E-01	9,44E-02	1,90E-01	
Climate change	Pt	9,17E-02	0.00458	1,49E-01	2,79E-01	4,33E-01	5,81E-01	8,68E-02	5,55E-01	3,28E-01	3,49E-01	
Radiation	Pt	0.000237	x	3.95E-5	x	x	x	x	x	x	0.000197	
Ozone layer	Pt	0.00052	3.09E-7	1.96E-5	x	0.000122	1.37E-5	3.67E-5	x	8.59E-6	5.77E-5	
Ecotoxicity	Pt	3,92E-01	0.00408	5,42E-02	0.00697	2,44E-01	4,06E-01	6,20E-01	0.00502	0.00448	3,07E-01	
Acidification/ Eutrophication	Pt	5,83E-02	0.00413	7,71E-02	2,83E-01	1,40E-01	2,73E-01	3,81E-01	7,01E-02	1,17E-01	2,76E-01	
Land use	Pt	4,38E-02	0.00762	0.00668	3,85E-01	3,01E-01	5,46E-01	5,40E-01	7,29E-02	2,67E-01	0.012	
Minerals	Pt	1,57E-01	0.00197	1,15E-01	1,45E-01	6,61E-01	8,61E-02	1,09E-01	1,47E-01	7,50E-02	6,87E-01	
Fossil fuels	Pt	7,94E-01	3,74E-01	1,37E-01	2,65E-01	1,72E-01	4,42E-01	6,92E-01	4,38E-02	2,04E-01	3,31E-01	
Costi individuali	Pt	0,00E+00	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Incidenti	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Costi sociali	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Disagio	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

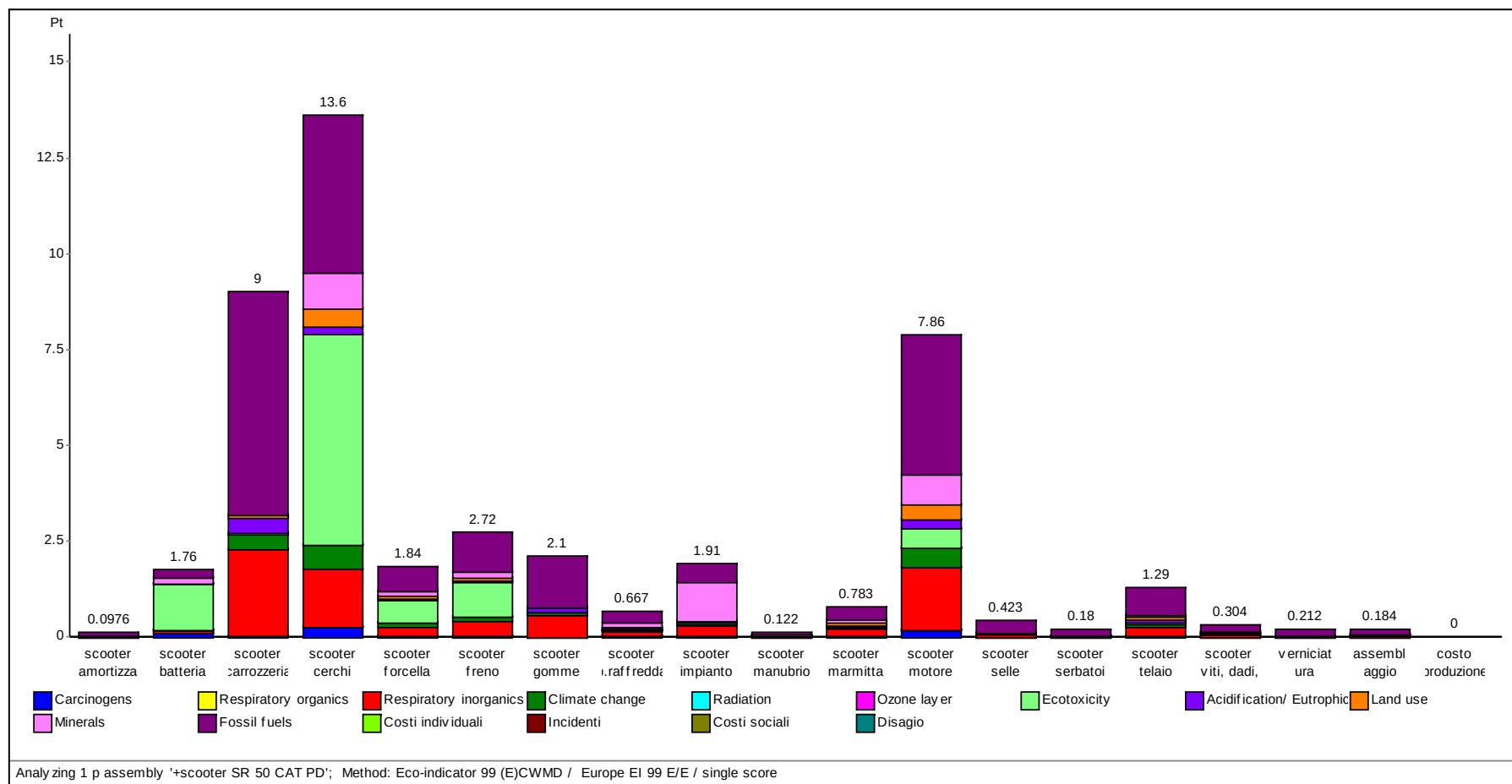
Parte II – Capitolo 3

Tabella 32 - Valutazione dell'assembly Scooter SR 50 CAT PD (continua)

Impact category	Unit	scooter manubrio	scooter marmitta	scooter motore	scooter selle	scooter serbatoi	scooter telaio	scooter viti, dadi, cuscin.	verniciatura	assemblaggio scooter	costo produzione scooter SR 50
Total	Pt	8,47E-02	5,44E-01	3,51E-01	2,94E-01	1,25E-02	6,18E-02	2,11E-01	1,47E-01	1,28E-01	0,00E+00
Carcinogens	Pt	0.00165	1,63E-01	1,43E-01	0.00134	0.00196	2,02E-01	0.00413	0.000428	0.00933	x
Respiratory organics	Pt	3.24E-5	0.000367	0.00194	0.000173	0.000256	0.00039	8.09E-5	0.000946	0.000123	x
Respiratory inorganics	Pt	1,96E-01	1,44E-01	8,47E-02	6,12E-01	1,47E-01	1,75E-01	4,89E-01	1,47E-01	2,67E-01	x
Climate change	Pt	0.00557	0.032	3,51E-01	1,36E-01	0.00695	4,81E-01	9,65E-02	0.016	8,61E-02	x
Radiation	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ozone layer	Pt	5.99E-7	0.000101	8.73E-5	1.81E-6	1.21E-5	2.09E-5	1.5E-6	1.22E-6	3.52E-5	x
Ecotoxicity	Pt	0.00414	1,49E-01	3,62E-01	0.0004	0.000904	3,35E-01	7,15E-02	0.000458	7,22E-02	x
Acidification/ Eutrophication	Pt	0.00509	2,26E-01	1,60E-02	1,01E-01	0.00463	3,58E-01	8,82E-02	0.00443	0.00588	x
Land use	Pt	0.00942	4,03E-01	2,69E-01	2.97E-9	0.00117	6,82E-01	1,63E-01	5.32E-5	x	x
Minerals	Pt	0.00715	0.077	5,41E-01	0.000542	0.00112	2,66E-01	1,24E-01	4.92E-5	x	x
Fossil fuels	Pt	4,19E-01	2,28E-01	1,67E-01	2,07E-01	9,86E-02	4,88E-01	1,05E-01	1,17E-01	7,43E-02	x
Costi individuali	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0,00E+00
Incidenti	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Costi sociali	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Disagio	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Parte II – Capitolo 3

Figura 21 - Valutazione dell'assembly Scooter SR 50 CAT PD



3.5.3 Caratteristiche del traffico ciclomotoristico

3.5.3.1 La combustione e le emissioni

Le rilevazioni effettuate dal Comune di Padova relativamente ai veicoli a due ruote indicano in 13.516 il numero complessivo di ciclomotori/motoveicoli che hanno attraversato le barriere di rilevamento nell'arco delle dodici ore di campagna. La base dati ACI⁵⁰ individua un numero di veicoli sensibilmente maggiore, pari a 18.430 unità, di cui quasi il 40% costituito da ciclomotori o veicolo di cilindrata inferiore ai 125 cc. Si assume che tutti i veicoli a due ruote possano essere modellati rapportandoli a scooter.

Per la combustione si è, pertanto, creato il processo *transport road* Scooter Aprilia SR 50 CAT nel quale si considerano come input i consumi di benzina e di olio e come output le emissioni dovute alla combustione, fornite dalla casa. Lo scooter percorre 29km/l. In Tabella 33 è indicato il processo Scooter Aprilia SR 50 CAT.

⁵⁰ Cfr. Inventario Copert III su www.aci.it

Tabella 33 - Processo Scooter Aprilia SR 50 CAT

SimaPro 5.0		Processes	Date:	28/03/2003		
Project: traffico Padova			Time:	12.20.40		
Process						
Materials/fuels						
Petrol unleaded stock Europe T	0,0248	0	0	kg	Fonte Aprilia (ciclo ECE47): Percorrenza: 29 km/l Peso specifico della benzina senza piombo: 0,72 kg/l Percorrenza: 29 km/l / 0,72 kg/l = 40,28 km/kg Consumo: 0,0248 kg/km PS: il ciclo ECE 47	
Crude oil N-sea(a) I	0,68425	0	0	g	Fonte Aprilia (ciclo ECE47): Consumo: 85cc / 100 km Consumo: 0,85 cc/km Peso specifico del petrolio grezzo: 0,805 kg/l oppure g/cm3 Consumo: 0,85 cc/km * 0,805 g/cm3 = 6,8425 g/km	
Emissions to air						
CO	4,7	0	0	g	Fonte Aprilia: 4,7g/km	
CO2	0,0769	0	0	kg	Per calcolare la massa di CO2 emessa si utilizza la seguente formula: $m_{CO2} / m_{comb} = 44 / (12 + (m / n)) = 3,102$ dove: m_{CO2} è la massa di CO2 m_{Comb} è la massa di combustibile bruciata = 0,0248 kg/km $m = 15,4$ (per la benzina) $n = 7,05$ (per la benzina) $m_{CO2} = (44 / (12 + 22,09)) * 0,0248$ km/km = 0,0769 kg/km	
methane	0,0004482	0	0	kg	dati Moped I (fonte database SimaPro): Consumo: 0,0248 kg.Benzina/km Emissioni (secondo Moped I) (kgCH4/km): 0,0003 kg.CH4/km Consumo benzina (Moped I): 0,0166 kg.Benzina/km (0,0248 kg.Benzina/km * 0,0003 kg.CH4/km / 0,0166 kg.Benzina/km) = 4,481e-4 kg.CH4 / kg.benzina Questo nell'ipotesi che il rapporto emissioni/consumi resti costante nel caso del Moped I e Aprilia SR50 CAT	
NOx	1,175	0	0	g	HC+NOx = 2,35g/km si fa l'ipotesi che le quantità di HC e di NOx siano uguali	
CxHy	1,175	0	0	g	Fonte: Aprilia	
dust (PM10) mobile	0,02	0	0	g	da Moped I: 0,00004 kgsoot/km pari a 0,04g (soot = polveri sottili) si fa l'ipotesi che le quantità diPM10 e di PM2.5 siano uguali	
dust (PM2.5)	0,02	0	0	g		
Non material emission						
Occup. as rail/road area	0,0046	0	0	m2a	per 1 auto vale 0,046, riduciamo di un fattore 10 (come si è fatto per il numero delle moto rispetto al numero delle auto)	
Products						
+Scooter Aprilia SR50 CAT PD	1	0	0	km	1	

Il processo è attribuito, nel calcolo, al numero effettivo di chilometri percorsi dai motoveicoli circolanti durante una giornata tipo.

3.5.3.2 I costi del carburante

Un ciclomotore sfrutta per il proprio movimento una miscela costituita da carburante (generalmente benzina) ed olio motore, necessario alla lubrificazione delle componenti meccaniche. Poiché queste due componenti devono essere valutate in modo separato nella determinazione del consumo specifico, è stato creato un processo, denominato costo benzina olio scooter SR50, con lo scopo di quantificare i costi connessi ad entrambi i fattori per ogni chilometro percorso in ambito urbano.

Il ciclomotore preso a modello ha, secondo le indicazioni della casa costruttrice, un consumo specifico di carburante di 0,034 l/km (pari a percorrenze medie di 29 km/l) ed un consumo specifico di olio motore di 85 cc/100 km. In Tabella 34 sono evidenziati i costi utilizzati nel calcolo.

Tabella 34 – Costi dei combustibili considerati

Combustibile	Costo (€/l)	Percorrenze (km/l)
Benzina senza piombo	1,06	29
Olio motore	7,74	85 (cc/100 km)

I costi sono attribuiti, nel calcolo, ai chilometri complessivamente percorsi.

3.5.3.3 I costi di utilizzo

Al fine di valutare i diversi costi sostenuti dal proprietario del veicolo, sono stati creati alcuni processi atti alla quantificazione delle spese. Sono stati presi in considerazione la manutenzione, la tassa di circolazione (c.d. bollo), l'assicurazione obbligatoria e le revisioni periodiche.

- **Costo di manutenzione:** è il processo per la valutazione dei costi sostenuti dall'automobilista per la manutenzione ordinaria e straordinaria del veicolo nell'arco dell'intera vita (5 anni o 50.000 km di percorrenza complessiva). Il

valore è posto pari a € 805,00 per la manutenzione ordinaria, sulla base del prospetto seguente (Tabella 35) calcolato considerando le sostituzioni programmate di componenti usurati, secondo la frequenza suggerita dalla casa costruttrice, utilizzando i pezzi di ricambio originali:

Tabella 35 - Costi per la manutenzione ordinaria

Cambio coppia pneumatici	ogni 5.000 km	€ 90,00
	dopo 30.000 km	€ 450,00
Cambio coppia pastiglie freni	ogni 5.000 km	€ 30,00
	dopo 30.000 km	€ 150,00
Cambio candele	ogni 5.000 km	€ 9,00
	dopo 30.000 km	€ 45,00
Cambio cinchia di trasmissione	ogni 8.000 km	€ 20,00
	dopo 30.000 km	€ 60,00
Cambio frizione	ogni 12.000 km	€ 50,00
	dopo 30.000 km	€ 100,00
Totale		€ 805,00

Relativamente alla manutenzione straordinaria, è stato calcolato il numero statistico d'incidenti attribuiti a ciclomotori nei 5 anni d'uso ed il costo di riparazione medio di un incidente, calcolato ipotizzando una serie di componenti ritenuti più facilmente danneggiabili, secondo gli schemi seguenti (Tabella 36 e Tabella 37):

Tabella 36 - Calcolo del costo unitario di riparazione per incidente

Motoveicoli coinvolti in incidenti in Italia (Fonte: Eurispes 97)	67.086
Motoveicoli circolanti in Italia (Fonte: ANCMA 1998)	9.855.902
Incidenti per motoveicolo in 5 anni	$67.086 \cdot 5 \text{ anni} / 9.855.902 =$ 0,034033
Costo medio per riparazione da incidente	388 €
Totale	$0,034033 \cdot 388 \text{ €} =$ 13,21 €

Tabella 37 - Calcolo del costo medio per riparazione da incidente

Specchietti retrovisori	Unitario	€ 20,00
	Complessivo (x 2)	€ 40,00
Indicatori di posizione	Unitario	€ 12,00
	Complessivo (x 4)	€ 48,00
Codone posteriore	Unitario	€ 180,00
	Complessivo (x 1)	€ 180,00
Scudo anteriore	Unitario	€ 120,00
	Complessivo (x 1)	€ 120,00
Totale		€ 388,00

Il valore è attribuito, nel calcolo, ai cicli di vita di ciclomotori complessivamente considerati.

- **Costo assicurazione e bollo:** è il processo per la valutazione dei costi relativi al premio assicurativo e alla tassa di circolazione (bollo). Entrambi i valori vengono valutati relativamente ad un giorno. Per l'assicurazione è stato preso come riferimento il profilo G del tariffario aggiornato al 1° semestre 2003 elaborato dall'ISVAP⁵¹. Si è considerato il valore medio dei premi stabiliti dalle compagnie di assicurazione per: *“Persona fisica di sesso maschile di 18 anni di età, che si assicura per la prima volta con la formula tariffaria bonus-malus e con un massimale pari a quello minimo previsto dalla legge vigente per un ciclomotore di 50 centimetri cubici di cilindrata (L.5 marzo 2001, n° 57, art. 1, comma 4, lett. g)”* (Profilo G). Il valore è pari a 240,63 €, ovvero 0,66 € al giorno.
Per la tassa di circolazione, si è fatto riferimento ai dati ACI⁵², che stabiliscono un ammontare forfaitario per i ciclomotori. Questo valore è pari a 21,00 €, ovvero 0,06 € al giorno.

⁵¹ Cfr. www.isvap.it - Sito dell'Istituto di Vigilanza sulle Imprese Assicuratrici.

⁵² Cfr. www.aci.it - Sito dell'Automobil Club d'Italia - Servizio di calcolo Bollo Auto.

Questi valori vengono attribuiti, nel calcolo, al numero di ciclomotori effettivamente circolanti durante una giornata tipo.

- **Costo di revisione**: la legge stabilisce che ogni veicolo debba essere sottoposto ogni 2 anni ad una revisione generale delle componenti meccaniche e di sicurezza al fine di individuare eventuali anomalie tecniche e ripristinare i valori ottimali di consumo ed emissione. Nello specifico, è previsto un regime nel quale un veicolo di nuova immatricolazione sia soggetto a revisione dopo i primi 4 anni e solo successivamente ogni 2 (formula del “4 + 2”). Poiché si è fatta l’ipotesi che il ciclomotore abbia una vita media di 5 anni, nell’arco del periodo di utilizzo esso sarà soggetto ad un unico intervento di revisione per un costo pari a 35 €, ovvero 0,02 € al giorno.

Questo valore viene attribuito, nel calcolo, al numero di ciclomotori effettivamente circolanti durante una giornata tipo.

3.5.3.4 Gli incidenti ed i costi sociali

Questi valori vengono attribuiti, nel calcolo, ai cicli di vita di motoveicoli complessivamente considerati.

- **Costo per incidenti mortali:** è il processo per la valutazione dei costi sociali connessi ai decessi occorsi a seguito di incidente stradale nel quale è stato coinvolto uno scooter⁵³. In Tabella 38 viene esplicitato il procedimento di calcolo utilizzato per la determinazione del parametro di costo.

Il valore è attribuito, nel calcolo, ai cicli di vita di moto complessivamente considerati.

Tabella 38 - Costo sociale per incidenti mortali

Fattore di ponderazione per incidenti ciclomotoristici (DALY)	50
Moto circolanti nella giornata tipo	18430
Stipendio medio annuo (€)	15493,71
Morti/anno a seguito di incidenti stradali con scooter/moto	2
Anni di vita di uno scooter	5
Costo sociale (€)	(50 DALY / 18430 scooter) · 15493,71 € · 2 morti · 5 anni = 420,34 €

- **Costo per incidenti non mortali:** è il processo per la valutazione dei costi sociali connessi alle persone ferite a seguito di incidente motoristico⁵⁴. In Tabella 39 viene esplicitato il procedimento di calcolo utilizzato per la determinazione del parametro di costo. Il valore è attribuito, nel calcolo, ai cicli di vita di moto complessivamente considerati.

⁵³ Cfr. § 3.4.3.4 (Costo per incidenti mortali automobili).

⁵⁴ Cfr. § 3.4.3.4 (Costo per incidenti non mortali automobili).

Tabella 39 - Costo sociale per incidenti non mortali

Scooter circolanti nella giornata tipo	18430
Costo per 1 giorno di degenza (€)	361,52
Feriti/anno a seguito di incidenti stradali con scooter	1246
Giorni di degenza considerati	15
Anni di vita di uno scooter	5
Costo sociale (€)	(1246 feriti · 5 anni) / 18430 scooter · 361,52 € · 15 giorni = 1833,10 €

3.5.3.5 L'energia meccanica prodotta

Il veicolo assunto come modello ha un rendimento del 13,34% ed un consumo di 0,0248 kg di combustibile al km. Il potere calorico della benzina è posto pari a 45,8 MJ/kg. In Tabella 40 è esplicitato il calcolo dell'energia meccanica guadagnata da ogni automobile del sistema considerato per ogni km percorso⁵⁵.

Questo valore, posto negativo, è attribuito, nel calcolo, ai chilometri complessivamente percorsi da tutte le autovetture circolanti durante la giornata tipo.

Tabella 40 - Energia meccanica prodotta dalla combustione

Rendimento considerato (%)	13,34%
Potere calorico della benzina (MJ/kg)	45,80
Consumo (kg/km)	0,0248
Percorrenza (km/kg)	40,28
Energia meccanica (MJ/km)	13,34% · 45,80 MJ/kg · 0,0248 kg/km = 0,1515

3.5.3.6 Il parco veicolare e le percorrenze

Secondo i dati forniti dal Settore Mobilità del Comune di Padova, nella giornata tipo all'interno dell'area oggetto di studio transitano in entrata e in uscita 27.032

⁵⁵ Per una breve descrizione del processo legato all'energia meccanica prodotta, cfr. § 3.4.3.5.

veicoli a 2 ruote, pari a 13.516 motocicli unici. Questo valore si discosta sensibilmente dal dato relativo alle immatricolazioni complessive del comune di Padova che, secondo le rilevazioni ACI, ammontano a 18.430 unità. In un'ottica precauzionale ed in considerazione del fatto che i ciclomotori compiono generalmente tragitti alternativi a quelli dei veicoli a 4 ruote, si è assunto come numero di motoveicoli circolanti quello del parco individuato da ACI a Padova.

Inoltre, come è possibile constatare dalla Tabella 41, i ciclomotori, ovvero i veicoli con cilindrata inferiore ai 125 cc, rappresentano quasi il 40% del parco circolante dei veicoli a due ruote. A seguito di ciò, si è ipotizzato che l'intero parco potesse essere assimilato ad uno costituito da soli ciclomotori.

Tabella 41 - Distribuzione motoveicoli nel comune di Padova (Fonte: ACI)

Cilindrata	Numero veicoli	%
Non identificata	5	0,03%
Oltre 750 CC	1.868	10,14%
Da 126 a 250 CC	4.319	23,43%
Da 251 a 750 CC	5.076	27,54%
Fino a 125 CC	7.162	38,86%
Totale	18.430	100%

Si ipotizza che ogni veicolo percorra una distanza pari al diametro del cerchio equivalente all'area oggetto di studio (6,8 kmq), che non vi siano fenomeni di congestionamento del traffico e che non sia necessario a questo tipo di veicoli effettuare tragitti aggiuntivi per trovare un'area di sosta disponibile.

Secondo le ipotesi iniziali, un ciclomotore nell'arco della propria vita percorre complessivamente 30.000 km; è, pertanto, possibile calcolare il numero di cicli di vita necessari a modellare complessivamente i veicoli a due ruote circolanti in un giorno feriale nell'area oggetto di studio (Tabella 42).

Tabella 42 - LCA Scooter complessivi

Area oggetto di studio (kmq)	6,800
Raggio del cerchio equivalente (km)	1,425
Diametro del cerchio equivalente (km)	2,850
Moto circolanti (n _{auto})	18.430
Km totali di vita di un'auto (km)	30.000
LCA complessivi	(18.430 auto / 30.000 km) · 2,850 km = 1,7509

3.5.4 Caratterizzazione e Valutazione di LCA Traffico Feriale Scooter

Di seguito vengono presentati il Product Stage relativo al ciclo di vita che modella il traffico ciclomotoristico nell'area oggetto di studio (Tabella 43), la caratterizzazione (Tabella 44) e il calcolo complessivo dei danni generati (Tabella 45)⁵⁶.

3.5.4.1 La caratterizzazione di LCA Traffico Feriale Scooter

Dall'analisi della caratterizzazione (Tabella 44 e Figura 22) è possibile trarre alcune considerazioni:

- Il **costo individuale totale**, inteso come costo complessivo sostenuto da tutti i soggetti privati che utilizzano i mezzi di trasporto considerati nell'arco della giornata, vale 22.177 €. Su di esso incide maggiormente il costo per l'assicurazione obbligatoria e la tassa di circolazione (14.191,10 €), il costo per l'acquisto del mezzo (3.821,28 €) e il costo per il carburante (2.273,25 €);
- Il **costo sociale** è di 3.923,81 € dovuto principalmente al costo per incidenti non mortali (3.209,48 €) e a quello dovuto agli incidenti mortali (735,95 €), cui si contrappone il guadagno dovuto al processo di rottamazione (22,62 €);

⁵⁶ ⁵⁶Per una definizione delle unità di misura adottate in fase di caratterizzazione e valutazione, cfr. § 1.4.5.

- Il danno dovuto agli **incidenti** vale 0,0570 DALY che corrisponde a 20,81 giorni di vita persi dalle persone che in un giorno feriale entrano ed escono su veicoli a due ruote dall'area cordonale di Padova. A tale valore il contributo maggiore è dato dagli incidenti che hanno provocato morti (0,0475 DALY);
- Nella categoria di danno **Human Health** (che, se si esclude le categorie di impatto Incidenti e Disagio, presenta complessivamente un danno pari a 0,00981 DALY) il danno maggiore (0,00801 DALY) è dovuto alla categoria di impatto Respiratory Inorganics, dovuto quasi esclusivamente ai processi di combustione necessari al movimento dei veicoli. Il contributo al danno totale fornito dai processi di produzione dei veicoli è in parte attenuato dal guadagno dovuto alla rottamazione. Nel primo caso abbiamo, così, un danno di $7,06 \times 10^{-4}$ DALY; nel secondo caso abbiamo un guadagno, inteso come mancato danno, di $4,96 \times 10^{-4}$ DALY;
- Nella categoria di danno **Ecosystem Quality** (853,89 PDF·m²·y) il danno maggiore (397,27 PDF·m²·y) è dovuto alla categoria di impatto Acidification/Eutrophication. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto ai processi di combustione necessari al movimento dei veicoli (385,83 PDF·m²·y) a causa della emissione di 61,80 kg di NO_x in atmosfera. Land Use ed Ecotoxicity incidono entrambi per circa il 25% ciascuno, con la produzione del veicolo che incide per oltre il 75% del danno nella categoria Ecotoxicity;
- Nella categoria di danno **Resources** (5.810,1 MJ Surplus) il danno maggiore (5.682,83 MJ surplus) è dovuto alla categoria di impatto Fossil Fuels. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto ai processi di combustione (5.753,03 MJ surplus) a causa del consumo di 1.537,11 kg di crude oil ETH. Il fatto che il valore di MJ Surplus sia più elevato del danno della categoria Fossil Fuels è

dovuto al guadagno, in termini di mancata energia spesa, dovuto ai processi di rottamazione e soprattutto all'energia meccanica sviluppata dalla rottamazione, che è di poco superiore al danno dovuto ai processi di fabbricazione del motorino. Si ha, infatti, che il sistema guadagna 661,35 MJ Surplus come energia meccanica prodotta e 420,16 dai processi di rottamazione. Il danno, invece, dovuto alla produzione dei veicoli è pari a 1.011,32 MJ Surplus.

3.5.4.2 La valutazione di LCA Traffico Feriale Scooter

Dall'analisi della valutazione (Tabella 45, Figura 26, Figura 27 e Figura 28) è possibile effettuare alcune considerazioni:

- Il **danno totale** vale 1.575,9 Pt. Il danno è dovuto principalmente alla categoria di danno Human Health (82,33% sul totale) e alla categoria di impatto Incidenti (70,25% sul totale). I 3 processi che presentano l'incidenza maggiore, rappresentano oltre il 98% del danno totale. In particolare gli incidenti stradali, mortali e non, rappresentano oltre il 70% (mortali, 58,51%, non mortali, 11,74%). Il terzo processo maggiormente significativo è rappresentato dal processo di combustione dei veicoli a due ruote;
- Il fatto che gli incidenti abbiano una tale incidenza sul totale è dovuta all'elevato rapporto decessi/veicoli a due ruote. A Padova, tale valore è pari a $1,09e-04$ mentre, per esempio, in una città di dimensioni maggiori come Bologna, lo stesso rapporto risulta $8,46e-05$;
- Nella categoria di danno Resources si ha anche un guadagno ambientale di -40 Pt (pari a circa il 20,5% del totale della categoria di danno e 2,5% sul danno totale) dovuto all'energia meccanica prodotta (-11,38%) e al fine vita (rottamazione) (8,98%).

Tabella 43 – LCA Traffico Feriale Scooter PD

SimaPro 5.0 Project: traffico Padova		Product stages	Date: 28/03/2003 Time: 14.58.54
Life cycle:			
Name	Comment		
+lca traffico feriale (scooter) PD	Dati dell'indagine cordonale 1997 (aggiornati al 2000): moto circolanti: 18430 (assumendo come valore dei motoveicoli rilevati nell'area cordonale il doppio del dato del parco veicolare rilevato dall'ACI) ciclomotore modello: scooter SR 50 CAT area oggetto di studio: 6.380.000 mq (pari a 6,38 kmq) raggio cerchio equivalente: 1,425 km diametro cerchio equivalente: 2,850 km Cicli di vita di moto totali: (18.430 moto/ 30.000 km) * 2,850 km = 1,75085		
Assembly	Amount	Unit	Comment
+scooter SR 50 CAT PD	1,75085	p	Numero di cicli di vita di motoveicoli a Padova in 1 giornata tipo: (18.430 moto / 30.000 km) * 2,850 km = 1,75085 motoveicoli
Processes	Amount	Unit	Comment
+scooter Aprilia SR50 CAT PD	52525,5	km	18.430 * 2,850 km = 52525,5 (km percorsi complessivamente da veicoli a 2 ruote)
+costo benzina olio scooter SR50 PD	52525,5	km	18.430 * 2,850 km = 52525,5 (km per i quali calcolare il costo della benzina)
+costo assicurazione bollo scooter PD	18430	p	18.430 (pari al numero di moto circolanti)
+costo revisione scooter PD	18430	p	18.430 (pari al numero di moto circolanti)
+costo di manutenzione scooter PD	1,75085	p	(18.430 moto/ 30.000 km) * 2,850 km = 1,75085 (numero di moto per le quali valutare il costo di manutenzione)
+costo per incidenti mortali scooter PD	1,75085	p	(18.430 moto/ 30.000 km) * 2,850 km = 1,75085 (numero di moto per le quali valutare il costo per incidenti mortali)
+costo per incidenti non mortali scooter PD	1,75085	p	(18.430 moto/ 30.000 km) * 2,850 km = 1,75085 (numero di moto per le quali valutare il costo per incidenti non mortali)
+incidenti mortali scooter PD	1,75085	p	(18.430 moto/ 30.000 km) * 2,850 km = 1,75085 (numero di moto per le quali valutare il numero di incidenti mortali)
+incidenti non mortali scooter PD	1,75085	p	(18.430 moto/ 30.000 km) * 2,850 km = 1,75085 (numero di moto per le quali valutare il numero di incidenti non mortali)
+Energia meccanica scooter SR50 DITECH PD	52525,5	km	18.430 * 2,850 km = 52525,5 (km per i quali calcolare il guadagno a seguito della produzione dell'

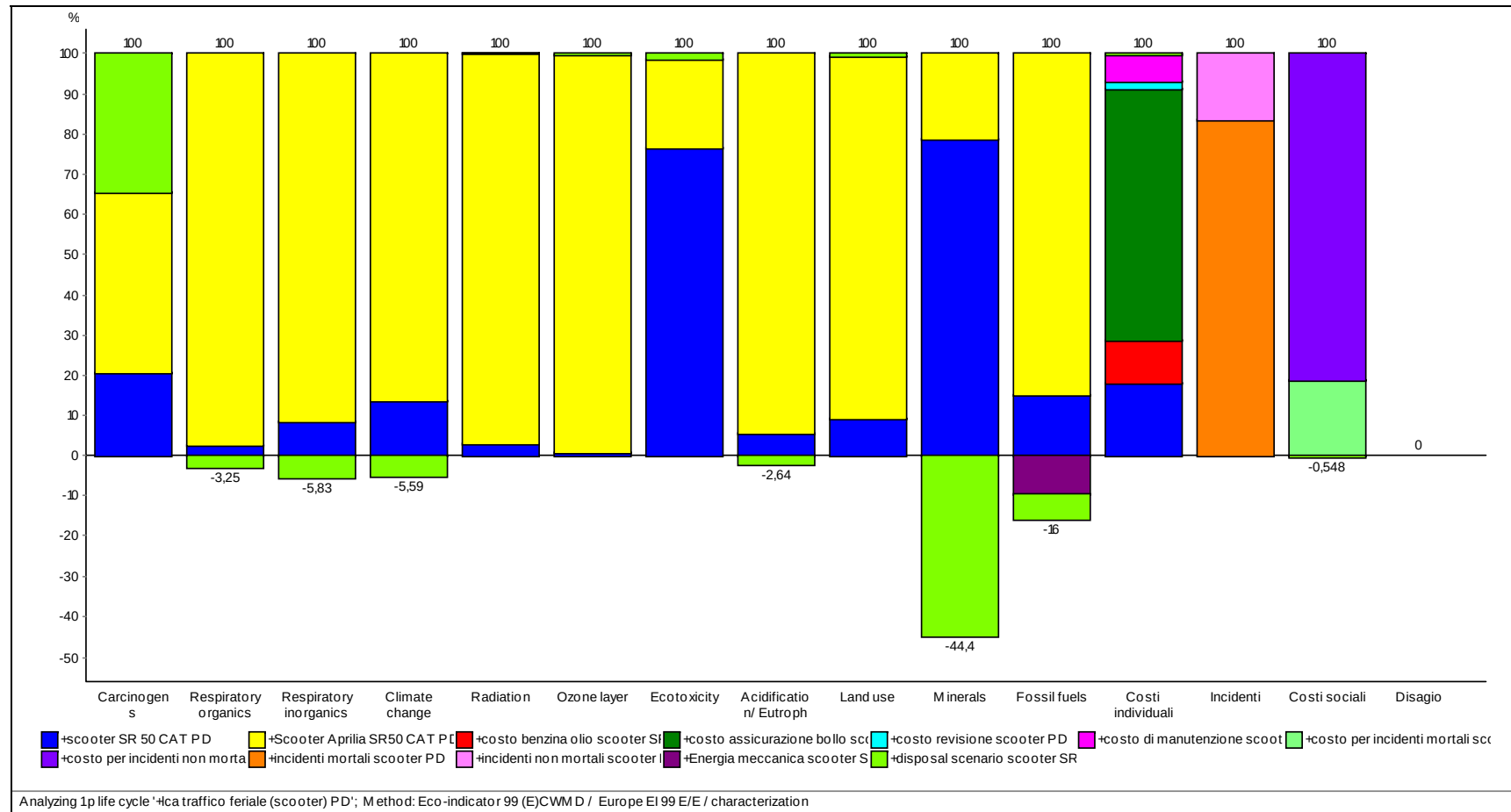
Parte II – Capitolo 3

Tabella 44- Caratterizzazione LCA Traffico Feriale Scooter PD

SimaPro 5.0		LCIA Profile	Date:	28/03/2003	Time:	12.47.39								
Project: traffico Padova														
Method:		Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E												
Value:		Impact indicator												
Per impact category:		Yes												
Impact category	Unit	Total	+scooter SR 50 CAT PD	+scooter Aprilia SR50 CAT PD	+costo benzina olio scooter SR50 PD	+costo assicurazi one bollo scooter PD	+costo revisione scooter PD	+costo di manutenz ione scooter PD	+costo per incidenti mortali scooter PD	+costo per incidenti non mortali scooter PD	+incidenti mortali scooter PD	+incidenti non mortali scooter PD	+Energia meccanica scooter SR50 DITECH PD	+disposal scenario scooter SR 50 CAT PD
Carcinogens	DALY	3,57E-04	7,33E-05	1,61E-04	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0,000123
Respiratory organics	DALY	9,95E-05	2,75E-06	1,00E-04	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-
Respiratory inorganics	DALY	8,01E-03	7,06E-04	7,80E-03	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0,00000334
Climate change	DALY	1,33E-03	1,91E-04	1,22E-03	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,000496
Radiation	DALY	7,71E-07	2,14E-08	7,49E-07	x	x	x	x	x	x	x	x	x	5,01E-11
Ozone layer	DALY	7,63E-06	4,69E-08	7,56E-06	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2,11E-08
Ecotoxicity	PAF*m2yr	2,08E+03	1,59E+03	4,59E+02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	28,1
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	3,97E+02	2,22E+01	3,86E+02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-10,8
Land use	PDF*m2yr	2,49E+02	2,33E+01	2,24E+02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2,14
Minerals	MJ surplus	1,27E+02	1,80E+02	4,85E+01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-102
Fossil fuels	MJ surplus	5,68E+03	1,01E+03	5,75E+03	x	x	x	x	x	x	x	x	-661	-420
Costi individuali	euro	2,13E+04	3,82E+03	x	2,27E+03	1,33E+04	3,69E+02	1430	x	x	x	x	x	90,4
Incidenti	DALY	5,70E-02	x	x	x	x	x	x	x	x	0,0475	0,00953	x	x
Costi sociali	euro	3,92E+03	x	x	x	x	x	x	736	3210	x	x	x	-21,6
Disagio	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Parte II – Capitolo 3

Figura 22 - Caratterizzazione LCA Traffico Feriale Scooter PD



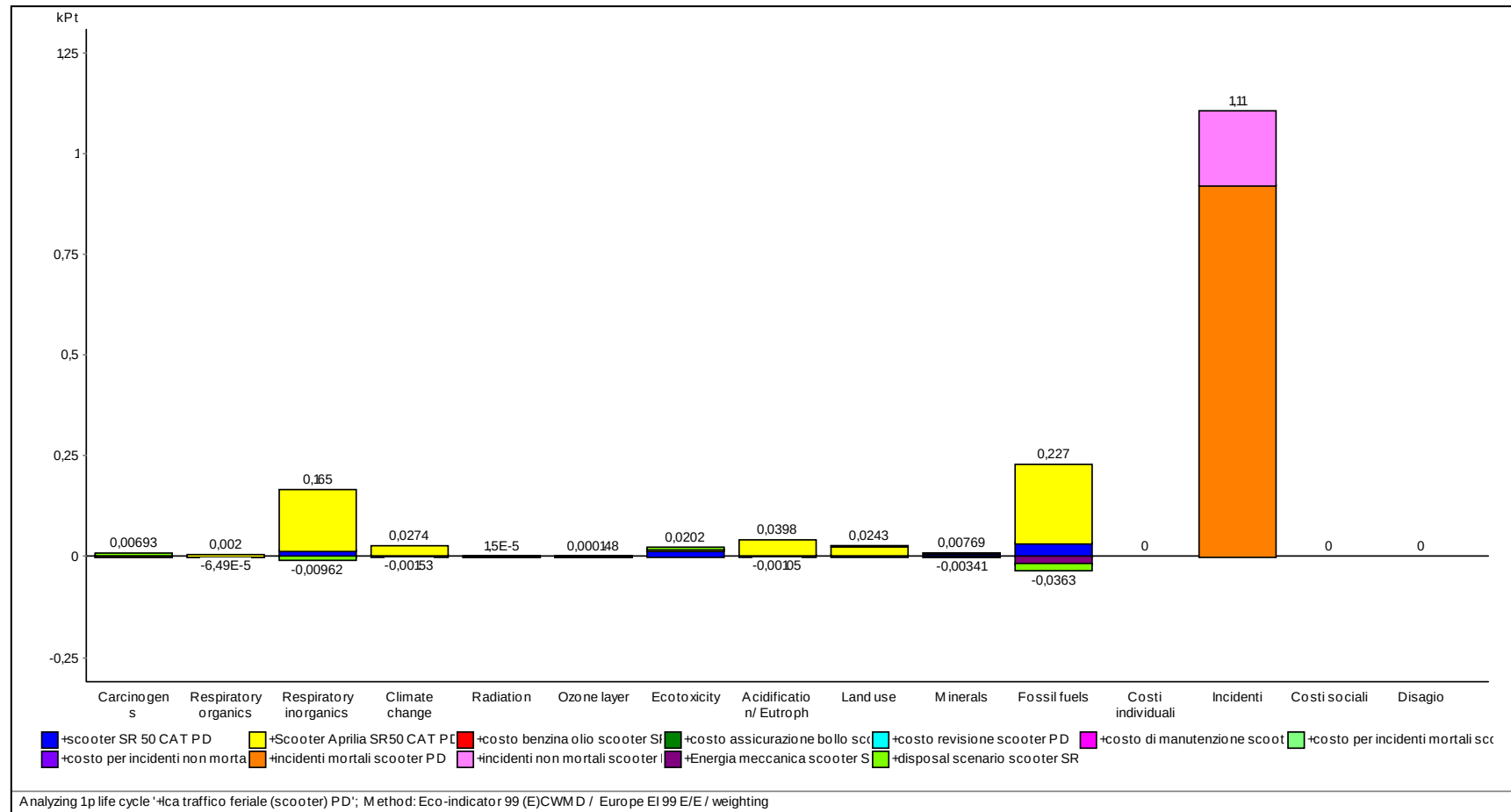
Parte II – Capitolo 3

Tabella 45 - Valutazione LCA Traffico Feriale Scooter PD

SimaPro 5.0		LCIA Profile:		Date	: 28/03/2003	Time	13.08.27								
Project: traffico Padova															
Method:		Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E													
Value:		Weighted indicator													
Per impact category:		Yes													
Impact category	Unit	Total	+scooter SR 50 CAT PD	+scooter Aprilia SR50 CAT PD	+costo benzina olio scooter SR50 PD	+costo assicura zione bollo scooter PD	+costo revision e scooter PD	+costo di manutenzi one scooter PD	+costo per incidenti mortal scooter PD	+costo per incidenti non mortal scooter PD	+inciden ti mortal scooter PD	+inciden ti non mortal scooter PD	+Energia meccanica scooter SR50 DITECH PD	+disposal scenario scooter SR 50 CAT PD	
Total	Pt	1,58E+03	7,89E+01	4,39E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,22E+02	1,85E+02	-2,22E+01	-2,69E+01	
Carcinogens	Pt	6,93E+00	1,42E+00	3,12E+00	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2,39E+00	
Respiratory organics	Pt	1,93E+00	5,33E-02	1,94E+00	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-6,49E-02	
Respiratory inorganics	Pt	1,55E+02	1,37E+01	1,51E+02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-9,62E+00	
Climate change	Pt	2,59E+01	3,71E+00	2,37E+01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-1,53E+00	
Radiation	Pt	1,50E-02	4,15E-04	1,45E-02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	9,72E-07	
Ozone layer	Pt	1,48E-01	9,11E-04	1,47E-01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	4,10E-04	
Ecotoxicity	Pt	2,02E+01	1,55E+01	4,48E+00	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2,74E-01	
Acidification/ Eutrophication	Pt	3,87E+01	2,17E+00	3,76E+01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-1,05E+00	
Land use	Pt	2,43E+01	2,27E+00	2,18E+01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2,08E-01	
Minerals	Pt	4,28E+00	6,06E+00	1,63E+00	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-3,41E+00	
Fossil fuels	Pt	1,91E+02	3,40E+01	1,93E+02	x	x	x	x	x	x	x	x	-2,22E+01	-1,41E+01	
Costi individuali	Pt	0,00E+00	0,00E+00	x	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	x	x	x	x	x	0,00E+00	
Incidenti	Pt	1,11E+03	x	x	x	x	x	x	x	x	9,22E+02	1,85E+02	x	x	
Costi sociali	Pt	0,00E+00	x	x	x	x	x	x	0,00E+00	0,00E+00	x	x	x	0,00E+00	
Disagio	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

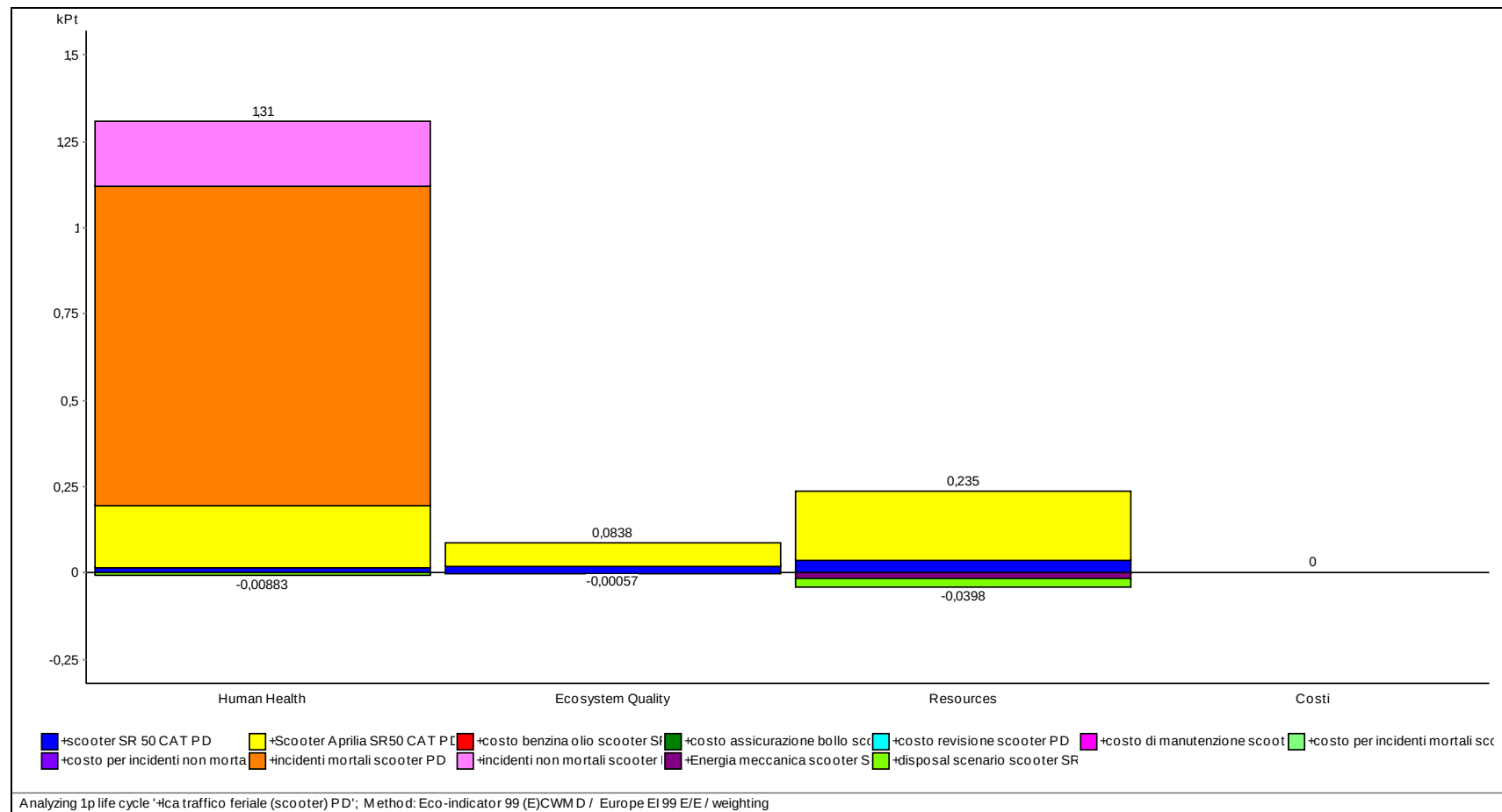
Parte II – Capitolo 3

Figura 23 - Valutazione LCA Traffico Feriale Scooter PD



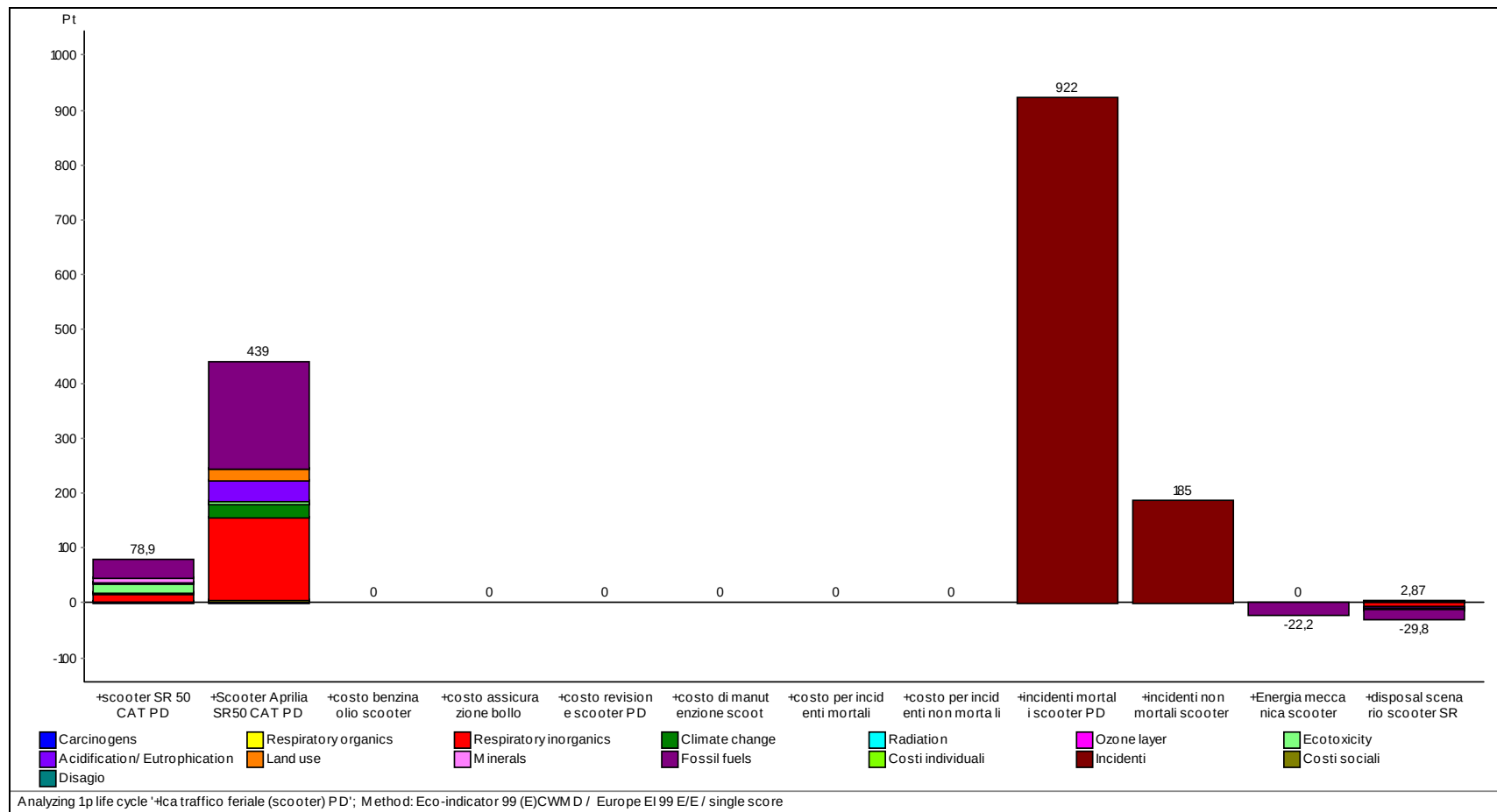
Parte II – Capitolo 3

Figura 24 - Valutazione LCA Traffico Feriale Scooter PD, per categoria di Danno



Parte II – Capitolo 3

Figura 25 - Valutazione LCA Traffico Feriale Scooter PD, in base alle Componenti



3.6 LCA del traffico feriale dei veicoli commerciali leggeri

3.6.1 Introduzione

Il parco veicolare dei veicoli commerciali è costituito, secondo i dati ACI⁵⁷, per quasi l'85%, pari a 7.771 unità, da veicoli commerciali leggeri, ossia quei veicoli con massa a pieno carico non superiore a 3,5 tonnellate.

Rispetto ai valori espressi dai dati ACI esiste una notevole differenza con le indagini sul campo in merito ai veicoli effettivamente circolanti: lo studio effettuato dal Comune di Padova ha individuato quasi 28 mila veicoli commerciali leggeri in transito, in entrata ed in uscita, nell'area oggetto di studio, dimostrando la notevole vocazione commerciale della città.

In questo paragrafo verrà descritto il procedimento utilizzato per la realizzazione dell'analisi del ciclo di vita del traffico riferibile ai soli veicoli commerciali leggeri. Si procederà seguendo la struttura utilizzata dal codice al fine da dare una migliore leggibilità dei risultati.

3.6.2 Assembly dello furgone

3.6.2.1 Le caratteristiche generali

Per la realizzazione dell'*assembly*, in mancanza di dati specifici, si è ipotizzato che esso potesse corrispondere ad 1,5 volte quello di autovettura. Questo in considerazione del fatto che il veicolo commerciale scelto per la determinazione di altri parametri, come i costi di manutenzione, assicurazione e bollo, ha un peso complessivo, escluso il carico totale ammissibile, di circa 1.500 kg.

Si è ipotizzata una vita media del veicolo di 7 anni, con una percorrenza complessiva massima di 350.000 km. Il prezzo è fissato in 22.958 € ed è relativo ad un modello "Fiat - Nuovo Ducato Maxi 2.8 JTD" con le seguenti caratteristiche: lamierato, 3 posti, passo 3.700 mm. Nell'*assembly* esso è posto sotto il processo con nome costo produzione furgone PD. Questo stesso modello è stato utilizzato come riferimento per la determinazione degli altri costi operativi.

⁵⁷ Cfr. Inventario Copert III su www.aci.it

Date le caratteristiche dell'*assembly*, si ritengono poco significative le tabelle relative a caratterizzazione e valutazione e si riportano esclusivamente i risultati.

3.6.2.2 La caratterizzazione e la valutazione dell'*assembly* Furgone

Dai risultati della caratterizzazione si può osservare⁵⁸:

- Nella categoria di danno **Human Health**, il danno totale è pari a 0,0049 DALY. Il danno maggiore (0,00396 DALY) è dovuto alla categoria di impatto Respiratory Inorganics. (non è possibile essere più precisi perché il modello utilizza l'*assembly* dell'automobile e quindi non consente un dettaglio migliore).
- Nella categoria di danno **Ecosystem Quality**, il danno totale è pari a 1.240 PDF·m²·y. Il danno maggiore (976 PDF·m²·y) è dovuto alla categoria di impatto Ecotoxicity.
- Nella categoria di danno **Resources**, il danno totale è pari a 6.610 MJ Surplus. Il danno maggiore (4.590 MJ surplus) è dovuto alla categoria di impatto Fossil Fuels.

Dai risultati della valutazione si osserva che:

- Il **danno totale** vale 438 Pt. Il danno è dovuto principalmente alla categoria di danno Resources (50,65%) e alla categoria di impatto Fossil Fuels (35,21%).

⁵⁸ Per una definizione delle unità di misura adottate in fase di caratterizzazione e valutazione, cfr. § 1.4.5.

3.6.3 Caratteristiche del traffico dei veicoli commerciali leggeri

3.6.3.1 La combustione e le emissioni

Le rilevazioni effettuate dal Comune di Padova relativamente ai veicoli commerciali leggeri indicano in 27.770 il numero complessivo di unità che hanno attraversato le barriere di rilevamento nell'arco delle dodici ore di campagna.

I dati forniti da ACI, indicano che quasi il 40% dei veicoli commerciali leggeri immatricolati sono alimentati a gasolio e rientrano nella categoria COPERT "Conventional", ovvero non sono soggetti a nessuna limitazione rispetto alle emissioni in atmosfera. Sommando i veicoli con le stesse caratteristiche tecniche alimentati, però, a benzina si arriva a quasi il 50% dei veicoli complessivamente immatricolati nel comune. Circa 1.900 veicoli, poco meno del 25%, sono classificabili come Euro 1 e 1840 circa come Euro 2, con una netta prevalenza per i veicoli diesel. Infine poco meno del 5% del totale è costituito da veicoli in regola con la normativa Euro 3.

Per la combustione si è, pertanto, utilizzato il processo *transport road* Delivery Van I, già presente nel codice. In Tabella 46 è indicato il processo Delivery Van I.

Tabella 46 - Processo Delivery Van I

SimaPro 5.0	Processes	Date:	28/03/2003		
Project: traffico Padova		Time:	12.20.29		
Process					
Representativeness	Average from processes with similar outputs				
Record	Delft University of Technology				
Literature references	Transport NL				
Comment	Transport of 1 tonne or 3m3 with a van over 1km. (Combustion only)				
Materials/fuels					
Diesel I	0,089	0	0	kg	fuel consumption
Emissions to air					
SO2	0,00008	0	0	kg	
NOx	0,00091	0	0	kg	
CO2	0,263	0	0	kg	
CO	0,0008	0	0	kg	
VOC	0,00023	0	0	kg	
methane	0,00001	0	0	kg	
pentane	0,00003	0	0	kg	
formaldehyde	0,0000137	0	0	kg	
benzene	0,000015	0	0	kg	
toluene	0,000038	0	0	kg	
ethylbenzene	0,000009	0	0	kg	
naphthalene	0,0000016	0	0	kg	
Cr	0,00000002	0	0	kg	
Zn	0,0000054	0	0	kg	
Cd	0,00000001	0	0	kg	
soot	0,00018	0	0	kg	
Non material emission					
Occup. as rail/road area	380	0	0	cm2a	
Products					
+Delivery van I PD	1	0	0	km	1 - Road

Il processo è attribuito, nel calcolo, al numero effettivo di chilometri percorsi complessivamente dai veicoli commerciali leggeri circolanti durante una giornata tipo.

3.6.3.2 I costi del carburante

È stato creato un processo per la valutazione dei costi relativi al carburante utilizzato. Esso valuta la spesa sostenuta da chi guida il mezzo per percorrere un chilometro di strada utilizzando il veicolo, le cui caratteristiche sono state evidenziate in Tabella 46. Il processo individua un consumo medio di 0,089 kg/km di carburante, equivalenti a 0,107 l/km (considerando la densità del gasolio pari a 0,83 kg/l). Si ricava, quindi, che il mezzo ha una percorrenza media di 9,35 km/l. Il costo per 1 litro di carburante è posto pari a 0,862 €/l, analogamente a quanto previsto per le autovetture ed il costo chilometrico utilizzato nel codice è, pertanto, 0,0922 €/km.

Il costo è attribuito, nel calcolo, ai chilometri complessivamente percorsi.

3.6.3.3 I costi di utilizzo

Al fine di valutare i diversi costi sostenuti dal proprietario del veicolo, sono stati creati alcuni processi atti alla quantificazione delle spese. Sono stati presi in considerazione la manutenzione ordinaria e straordinaria, la tassa di circolazione (c.d. bollo), l'assicurazione obbligatoria ed un'assicurazione specifica per la protezione da danni alle merci trasportate.

- **Costo di manutenzione ordinaria:** è il processo per la valutazione dei costi sostenuti dal proprietario del mezzo per la manutenzione ordinaria. È strutturata come un costo chilometrico ed è relativa al modello di veicolo utilizzato per la determinazione del costo di acquisto e delle caratteristiche tecniche (Nuovo Ducato Maxi 2.8 JTD). I costi comprendono gli interventi di manutenzione ordinaria previsti dalla casa costruttrice e indicati sul libretto di uso e manutenzione. Si riferiscono a percorrenze di 200.000 km in 4 anni. Si è inoltre considerato anche il costo chilometrico dell'ammortamento. In Tabella 47, sono evidenziati gli interventi ed i relativi costi.

Tabella 47 - Costi per la manutenzione ordinaria (Fonte: Tuttotrasporti – Novembre 2002)

Sostituzione pattini freni anteriori	ogni 30.000 km
Sostituzione spazzole tergicristalli	1 volta l'anno
Sostituzione dischi freni anteriori	ogni 50.000 km
Sostituzione pattini freni posteriori	ogni 60.000 km
Sostituzione batteria	ogni 4 anni
Rabbocco olio motore	1 l ogni 5.000 km
Sostituzione pneumatici	ogni 40.000 km
Sostituzione ammortizzatori	ogni 150.000 km
Sostituzione gruppo frizione	ogni 100.000 km
Totale	0.048 €/km
Ammortamento	0.078 €/km
Totale complessivo	0.126 €/km

Il costo è attribuito, nel calcolo, ai chilometri complessivamente percorsi.

- **Costo di manutenzione straordinaria:** relativamente alla manutenzione straordinaria, si è calcolato il numero statistico d'incidenti attribuiti ad veicolo commerciale leggero nei 7 anni d'uso ed il costo di riparazione medio di un incidente sulla base di uno studio precedente⁵⁹.

A Padova, nell'anno 2000, camion e furgoni hanno causato 72 tra morti e feriti, mentre le auto 1.160. Si suppone che il numero di morti e feriti sia uguale al numero di incidenti. Poiché alle auto si è attribuito 1 incidente in 10 anni, alla categoria "camion + furgoni" attribuiamo 0,0439 incidenti. Inoltre, poiché si suppone di attribuire ai furgoni la metà dei morti e dei feriti individuati dalle

⁵⁹ Cfr. Sassi D., Analisi del ciclo di vita dell'automobile, Documento ENEA PROT-P135-010.

rilevazioni ISTAT, il valore relativo ai soli veicoli commerciali leggeri è 0,02195.

Il costo totale vale 90,55 €. In Tabella 48 è esplicitato il calcolo dei costi.

Tabella 48- Calcolo del costo unitario di riparazione per incidente

Incidenti (camion + furgoni)	72
Incidenti (auto)	1160
Incidenti auto in 10 anni	1
Incidenti camion + furgoni in 7 anni	$(72 \text{ incidenti} / 1160 \text{ incidenti}) \cdot 7 \text{ anni} / 10 \text{ anni} \cdot 1 \text{ incidente} = 0,0439$
Incidenti attribuibili ai soli furgoni	0,02195
Costo di riparazione per incidente (€)	4125,46
Costo di manutenzione straordinaria (€)	90,55

Il valore è attribuito, nel calcolo, ai cicli di vita di veicoli commerciali leggeri complessivamente considerati.

- **Costo assicurazione e bollo:** è il processo per la valutazione dei costi relativi al premio assicurativo e alla tassa di circolazione (bollo). Entrambi i valori vengono valutati relativamente ad un giorno. Per l'assicurazione è stato preso come riferimento il profilo H del tariffario aggiornato al 1° semestre 2003 elaborato dall'ISVAP⁶⁰. Si è considerato il 33% del valore medio dei premi stabiliti dalle compagnie di assicurazione per: *“Imprese esercenti l'autotrasporto di cose in conto terzi, che si assicurano per la prima volta con la formula tariffaria pejus, con un massimale pari a quello minimo previsto dalla legge vigente per un veicolo con massa totale a pieno carico di 18 tonnellate (L. 5 marzo 2001, n° 57, art. 1 comma 4, lett. h)”* (Profilo H). Il valore è pari a 1056,85 €, ovvero 2,90 € al giorno.

La scelta di applicare un coefficiente di 0,33 alla tariffa media è stata fatta in considerazione del fatto che la tariffa H si applica a veicoli con p.t.t. (peso totale a terra) di 18 tonnellate e che generalmente i premi assicurativi per i veicoli commerciali leggeri vengono considerati raggruppando in un'unica categoria i furgoni con portata da 3,5 a 6 tonnellate.

⁶⁰ Cfr. www.isvap.it - Sito dell'Istituto di Vigilanza sulle Imprese Assicuratrici.

Per la tassa di circolazione, si è fatto riferimento ai dati ACI⁶¹ per un veicolo caratteristiche analoghe a quello individuato come modello (diesel, 2.800 cc di cilindrata, lamierato 3 posti, passo 3.700 mm, p.t.t. 3500 kg). L'importo è pari a 266,96 €, ovvero 0,73 € al giorno.

Questi valori vengono attribuiti, nel calcolo, al numero di furgoni effettivamente circolanti durante una giornata tipo.

- **Costo di assicurazione merci:** non esiste una normativa specifica che obblighi gli autotrasportatori a sottoscrivere un'assicurazione per danni alle merci trasportate. Generalmente i risarcimenti avvengono in base al peso e non in riferimento al reale valore attribuito dal proprietario del bene, eccezion fatta per contratti di assicurazione specifici stipulati al momento della presa in carico da parte del trasportatore. Per tutelarsi da eventuali danni alla merce, i titolari del servizio di consegna stipulano generalmente un'assicurazione che copra esclusivamente i risarcimenti previsti con le modalità sopra indicate. L'ammontare di questa polizza è stato calcolato in 1.032,91 € ed è stato attribuito ad un giorno (2,83 €).

Questo valore viene attribuito, nel calcolo, al numero di furgoni effettivamente circolanti durante la giornata tipo.

3.6.3.4 Gli incidenti ed i costi sociali

Unitamente ai costi sostenuti per l'utilizzo quotidiano del veicolo per lavoro, sono stati presi in considerazione i costi indiretti connessi agli incidenti. I dati ISTAT⁶² indicano per l'anno 2000 la presenza di 1 persona deceduta e 71 ferite per incidenti nei quali sono state coinvolte veicoli commerciali leggeri e pesanti. Poiché le rilevazioni non consentono un dettaglio più preciso per la distinzione tra incidenti attribuibili ad una categoria o all'altra, si ipotizza di assegnare a ciascuna di esse la metà degli incidenti mortali e non mortali.

⁶¹ Cfr. www.aci.it - Sito dell'Automobil Club d'Italia - Servizio di calcolo Bollo Auto.

⁶² Cfr. ISTAT, Dati sugli incidenti stradali nel comune di Padova, 2001.

- **Incidenti mortali e non mortali furgone:** sulla base delle considerazioni sopra esposte si ha che, statisticamente, ogni furgone è stato causa di $3,601e-05$ morti (pari a 0,5 morti / 13885 furgoni) e di $2,557e-03$ feriti (pari a 35,5 feriti / 13885 furgoni). Entrambi questi valori devono essere rapportati all'intera vita del veicolo commerciale, 125000 ore.

veicolo commerciale leggero. In Tabella 50 viene esplicitato il procedimento di calcolo utilizzato per la determinazione del parametro di costo⁶⁴.

Il valore è attribuito, nel calcolo, ai cicli di vita di moto complessivamente considerati.

Tabella 50 - Costo sociale per incidenti non mortali

Furgoni circolanti nella giornata tipo	13885
Costo per 1 giorno di degenza (€)	361,52
Feriti/anno a seguito di incidenti stradali con furgoni	35,5
Giorni di degenza considerati	15
Anni di vita di un furgone	7
Costo sociale (€)	(35,5 feriti · 7 anni) / 13885 furgoni · 361,52 € · 15 giorni = 97,05 €

3.6.3.5 L'energia meccanica prodotta

Il veicolo assunto come modello ha un rendimento del 12,60 % ed un consumo di 0,089 kg di combustibile al km. Il potere calorico del gasolio è posto pari a 45,4 MJ/kg. In Tabella 51 è esplicitato il calcolo dell'energia meccanica guadagnata da ogni furgone del sistema considerato per ogni km percorso⁶⁵.

Questo valore, posto negativo, è attribuito, nel calcolo, ai chilometri complessivamente percorsi da tutti i veicoli commerciali leggeri circolanti durante la giornata tipo.

⁶⁴ Cfr. § 3.4.3.4 (Costo per incidenti non mortali automobili).

⁶⁵ Per una breve descrizione del processo legato all'energia meccanica prodotta, cfr. § 3.4.3.5.

Tabella 51 - Energia meccanica prodotta dalla combustione

Rendimento considerato (%)	12,60
Potere calorico del gasolio (MJ/kg)	45,40
Consumo (kg/km)	0,089
Percorrenza (km/kg)	11,24
Energia meccanica (MJ/km)	$12,6\% \cdot 45,40 \text{ MJ/kg} \cdot 0,089 \text{ kg/km} = 0,50912$

3.6.3.6 Il parco veicolare e le percorrenze

Secondo i dati forniti dal Settore Mobilità del Comune di Padova⁶⁶, nella giornata tipo all'interno dell'area oggetto di studio transitano in entrata e in uscita 27.770 veicoli commerciali leggeri, pari a 13.885 unità. Questo valore si discosta sensibilmente dal dato relativo alle immatricolazioni complessive del comune di Padova che, secondo le rilevazioni ACI, ammontano a 7.771 unità..

Complessivamente quasi il 90% dei veicoli è alimentato a gasolio; i carburanti alternativi assorbono complessivamente poco meno del 2% del totale, con un'alta prevalenza per i veicoli alimentati a GPL. In Tabella 52 è indicata la distribuzione dei veicoli in base al carburante utilizzato ed in Tabella 53 quella in base alle specifiche di emissione previste dalla normativa, secondo COPERT III.

Tabella 52 - Distribuzione veicoli commerciali leggeri per carburante (fonte: ACI)

Carburante	%	Furgoni
Benzina	10,8%	839
Gasolio	87,5%	6.798
GPL	1,1%	88
Metano	0,5%	39
Altro	0,1%	7
Totale	100,0%	7.771

⁶⁶ Cfr. Comune di Padova - Settore Trasporti e Mobilità, Indagine cordonale 1997, aggiornata al 2000.

Tabella 53 - Distribuzione veicoli commerciali leggeri per limiti di emissione (fonte: ACI)

Limiti di emissione	%	Furgoni
Non identificato	1,8%	138
Convenzionali	45,5%	3.537
98/69 Euro III	4,6%	357
96/69/EEC	23,7%	1.838
93/59/EEC	24,5%	1.901
Totale	100,0%	7.771

Si ipotizza che ogni veicolo percorra una distanza pari al doppi del diametro del cerchio equivalente all'area oggetto di studio (6,8 kmq) a seguito del fatto che effettua un tragitto maggiore per le consegne da portare a termine.

Secondo le ipotesi iniziali, un veicolo commerciale leggero nell'arco della propria vita percorre complessivamente 350.000 km; è, pertanto, possibile calcolare il numero di cicli di vita necessari a modellare complessivamente i veicoli a due ruote circolanti in un giorno feriale nell'area oggetto di studio (Tabella 54).

Tabella 54 - LCA Furgone complessivi

Area oggetto di studio (kmq)	6,800
Raggio del cerchio equivalente (km)	1,425
Diametro del cerchio equivalente (km)	2,850
Distanza effettivamente percorsa (km)	5,700
Furgoni circolanti circolanti (n_{auto})	13.885
Km totali di vita di un'auto (km)	350.000
LCA complessivi	(13.885 furgoni / 350.000 km) · 5,700 km = 0,22613

3.6.4 Caratterizzazione e Valutazione di LCA Traffico Feriale Furgone

Di seguito vengono presentati il Product Stage relativo al ciclo di vita che modella il traffico dei veicoli commerciali leggeri nell'area oggetto di studio (Tabella

55), la caratterizzazione (Tabella 56) e il calcolo complessivo dei danni generati (Tabella 57)⁶⁷.

3.6.4.1 La caratterizzazione di LCA Traffico Feriale Furgone

Dall'analisi della caratterizzazione (Tabella 56 e Figura 26) è possibile trarre alcune considerazioni:

- Il **costo individuale totale**, inteso come costo complessivo sostenuto da tutti i soggetti privati che utilizzano i mezzi di trasporto considerati nell'arco della giornata, vale 113.000 €. Su di esso incide maggiormente il costo per l'assicurazione obbligatoria e bollo (50.400 €), il costo l'assicurazione delle merci (39.300 €) e i costi di manutenzione ordinaria (9.970 €);
- Il **costo sociale** è di 17 € dovuto al costo per gli incidenti mortali (39,10 €) e a quello dovuto agli incidenti non mortali (21,90 €), cui si contrappone il guadagno dovuto al processo di rottamazione (-44,10 €);
- Il danno dovuto agli **incidenti** vale 0,00257 DALY che corrisponde a 22,5 ore di vita perse dalle persone che in un giorno feriale utilizzano un veicolo commerciale leggero per accedere all'area cordonale di Padova. A tale valore il contributo maggiore è dato dagli incidenti che hanno provocato morti (0,0025 DALY);
- Nella categoria di danno **Human Health** (che, se si esclude le categorie di impatto Incidenti e Disagio, presenta complessivamente un danno pari a 0,01643 DALY) il danno maggiore (0,011 DALY) è dovuto alla categoria di impatto Respiratory Inorganics. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto ai processi di combustione dei veicoli a motore (0,00959 DALY) a causa della emissione di

⁶⁷ Per una definizione delle unità di misura adottate in fase di caratterizzazione e valutazione, cfr. § 1.4.5.

92,4 kg di NO_x prodotto dalla combustione del gasolio. Il restante 14% circa (0,00149 DALY) è dovuto ai processi di produzione dei veicoli. In particolare molto significativi sono i danni dovuti alle emissioni di SO₂ in atmosfera;

- Nella categoria di danno **Ecosystem Quality** (4.840 PDF·m²·y), il danno maggiore (2.620 PDF·m²·y) è dovuto alla categoria di impatto Land Use. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto al processo Delivery Van I (2.560 PDF·m²·y) a causa dell'occupazione delle strade pari a 3.010 m²·y. La categoria di impatto Ecotoxicity presenta danni dello stesso ordine di grandezza della categoria Land Use con 1.620 PDF·m²·y mentre la categoria Acidification/Eutrophication presenta un danno di 594 PDF·m²·y;
- Nella categoria di danno **Resources** (25.300 MJ Surplus) il danno maggiore (24.500 MJ surplus) è dovuto alla categoria di impatto Fossil Fuels. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto dai processi di combustione del gasolio per autotrazione (27.400 MJ surplus) a causa del consumo di 14,9 kg di Copper (in ore) che provocano un danno di 475 MJ Surplus. Significativi, a tale riguardano, sono anche i consumi di Crude Oil IDEMAT (470 MJ Surplus) e coal (438 MJ Surplus). Il valore dovuto al danno Fossil Fuels è minore del danno dovuto alla combustione del gasolio in quanto è presente una forte componente di guadagno dovuta soprattutto all'energia meccanica prodotta (-3.340 MJ Surplus) quasi doppia rispetto all'energia necessaria per i processi di produzione dei veicoli commerciali pesanti.

3.6.4.2 La valutazione di LCA Traffico Feriale Furgone

Dall'analisi della valutazione (Tabella 57 e Figura 30, Figura 31, Figura 32) è possibile trarre alcune considerazioni:

- Il **danno totale** vale 1.690 Pt di cui il 95,56% è dovuto alle ai processi di combustione dei veicoli, per il 9,80% ai processi di produzione dei veicoli e per il 2,878% agli incidenti mortali. Ad essi si contrappongono i vantaggi derivanti dalla produzione di energia meccanica -6,66% e dai processi di rottamazione -1,64%;
- Il danno è dovuto principalmente alla categoria di danno Resources (50,25% sul totale) e alla categoria di impatto Fossil Fuels (48,77% sul totale);
- Nella categoria di danno Resources si ha anche un guadagno ambientale di -140,2 Pt (pari a circa il 17% del totale della categoria di danno e 8,5% sul danno totale) dovuto all'energia meccanica prodotta (-13,65%) e al fine vita (rottamazione) (3,423%).

Tabella 55 – LCA Traffico Feriale Furgone PD

SimaPro 5.0 Project: traffico Padova		Product stages	Date: 28/03/2003 Time: 14.58.54
Life cycle:			
Name	Comment		
+lca traffico feriale (furgone) PD	Dati dell'indagine cordonale 1997 (aggiornati al 2000): furgoni rilevati: 27770 furgoni circolanti: 13885 area oggetto di studio: 6.380.000 mq (pari a 6,38 kmq) raggio cerchio equivalente: 1,425 km diametro del cerchio equivalente: 2,850 km Km percorsi in una giornata: 2.850 km * 2 = 5,7 km (nell'ipotesi che il furgone percorra più strada perchè esegue più consegne). Cicli di vita di auto totali: (13885 furgoni / 350.000 km) * 5,7 km = 0,22613		
Assembly	Amount	Unit	Comment
furgone	0,22613	p	(13885 furgoni / 350.000 km) * 5,7 km = 0,22613
Processes	Amount	Unit	Comment
+Delivery van I PD	79144,5	km	13885 * 5,7 km = 79144,5 km (furgoni a diesel)
+costo diesel furgone PD	79144,5	km	13885 * 5,7 km = 79144,5 km (km per i quali si usa il prezzo €/kg di gasolio)
+costo di manutenzione furgone ordinaria PD	79144,5	km	13885 * 5,7 km = 79144,5 km (km per i quali si usa il costo chilometrico €/km per la manutenzione ordinaria)
+costo di manutenzione furgone straordinaria PD	0,22613	p	(13885 furgoni / 350.000 km) * 5,7 km = 0,22613 (furgoni per i quali calcolare i costi sostenuti per la manutenzione straordinaria in 7 anni)
+costo assicurazione merci furgone PD	13885	p	27770 furgoni / 2 = 13885 furgoni (furgoni per i quali si calcola il costo di assicurazione merci) = furgoni circolanti
+costo assicurazione bollo furgone PD	13885	p	27770 furgoni / 2 = 13885 furgoni (furgoni per i quali si calcola il costo di assicurazione e bollo) = furgoni circolanti
+costo per incidenti mortali furgone PD	0,22613	p	(13885 furgoni / 350.000 km) * 5,7 km = 0,22613 (furgoni per i quali calcolare i costi per incidenti mortalità in 7 anni)
+costo per incidenti non mortali furgone PD	0,22613	p	(13885 furgoni / 350.000 km) * 5,7 km = 0,22613 (furgoni per i quali calcolare i costi per incidenti non mortalità in 7 anni)
+incidenti mortali furgone PD	0,22613	p	(13885 furgoni / 350.000 km) * 5,7 km = 0,22613 (furgoni per i quali calcolare il numero di incidenti mortalità in 7 anni)
+incidenti non mortali furgone PD	0,22613	p	(13885 furgoni / 350.000 km) * 5,7 km = 0,22613 (furgoni per i quali calcolare il numero di incidenti non mortalità in 7 anni)
+Energia meccanica furgone (gasolio) PD	79144,5	km	13885 * 5,7 km = 79144,5 km (km per i quali valutare il guadagno derivato dalla produzione di energia meccanica necessaria al movimento dei veicoli)
Waste/Disposal scenario	Comment		
+disposal scenario furgone PD			

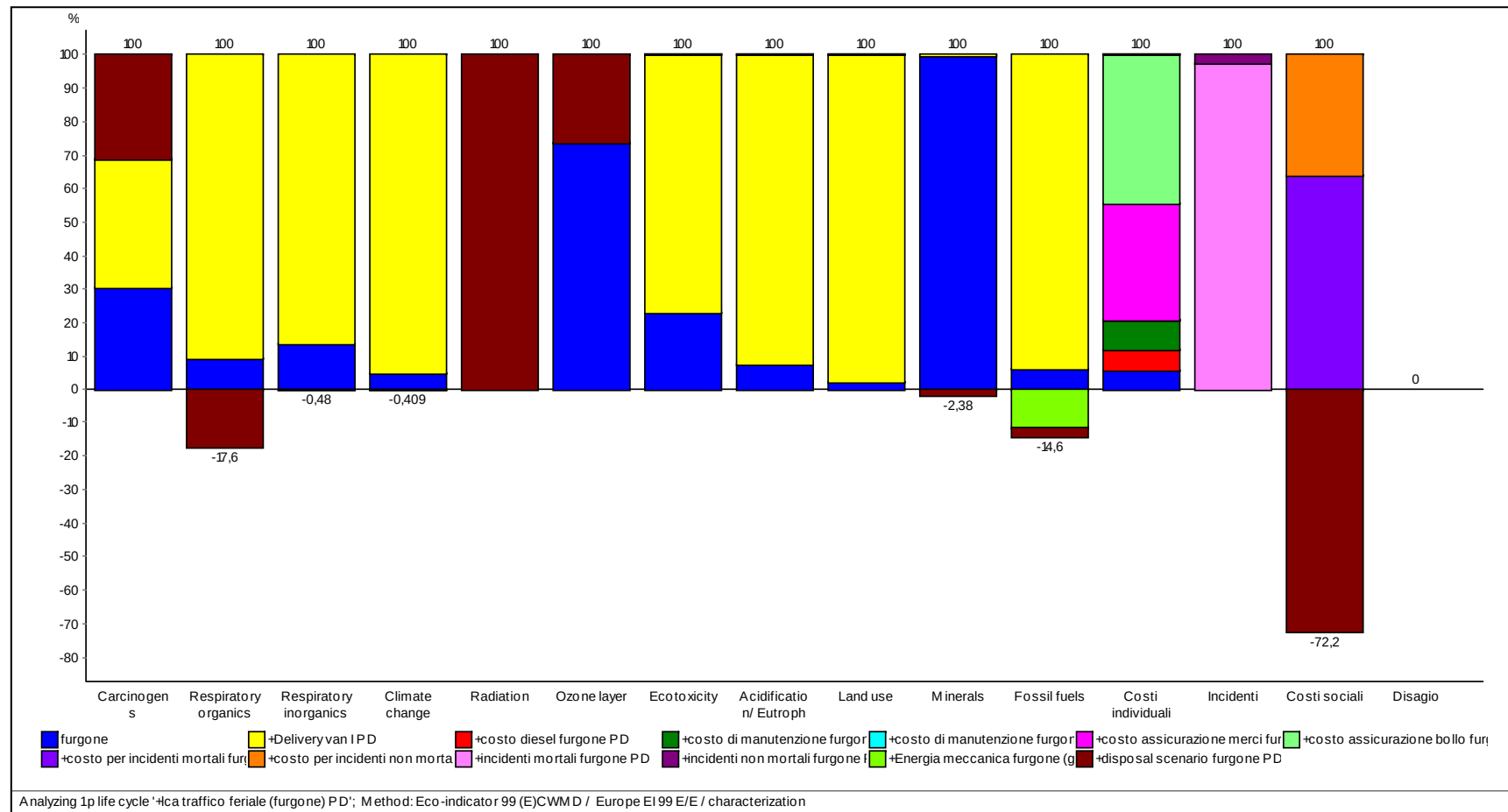
Parte II – Capitolo 3

Tabella 56 - Caratterizzazione LCA Traffico Feriale Furgone PD

SimaPro 5.0		LCIA Profile		Date:	28/03/2003		Time:	13.15.43							
Project: traffico Padova															
Method:		Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E													
Value:		Impact indicator													
Per impact category:		Yes													
Impact category	Unit	Total	furgone	+Delivery van I PD	+costo diesel furgone PD	+costo di manutenzione ordinaria PD	+costo di manutenzione straordinaria PD	+costo assicurazione merci furgone PD	+costo assicurazione bollo furgone PD	+costo per incidenti mortali furgone PD	+costo per incidenti non mortali furgone PD	+incidenti mortali furgone PD	+incidenti non mortali furgone PD	+Energia meccanica furgone (gasolio) PD	+disposal scenario furgone PD
Carcinogens	DALY	3,07E-04	9,38E-05	1,17E-04	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0,0000959
Respir. Org.	DALY	4,26E-05	4,83E-06	4,69E-05	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-
Respir. Inorg.	DALY	1,10E-02	1,49E-03	9,59E-03	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0,00000911
Climate change	DALY	5,03E-03	2,53E-04	4,79E-03	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,0000532
Radiation	DALY	7,38E-11	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,0000206
Ozone layer	DALY	1,81E-07	1,33E-07	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	7,38E-11
Ecotoxicity	PAF*m2yr	1,62E+04	3,68E+03	1,25E+04	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	4,76E-08
Acidif./ Eutroph.	PDF*m2yr	5,94E+02	4,57E+01	5,48E+02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	23,9
Land use	PDF*m2yr	2,62E+03	5,53E+01	2,56E+03	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0,164
Minerals	MJ surplus	7,45E+02	7,59E+02	4,20E+00	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	5,64
Fossil fuels	MJ surplus	2,45E+04	1,73E+03	2,70E+04	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-3340	-18,1
Costi individuali	euro	1,13E+05	6,42E+03	x	7,30E+03	9,97E+03	2,05E+01	39300	50400	x	x	x	x	x	-839
Incidenti	DALY	2,57E-03	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0,0025	0,0000652	x	23,4
Costi sociali	euro	1,70E+01	x	x	x	x	x	x	x	39,1	21,9	x	x	x	-44,1
Disagio	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Parte II – Capitolo 3

Figura 26 - Caratterizzazione LCA Traffico Feriale Furgone PD



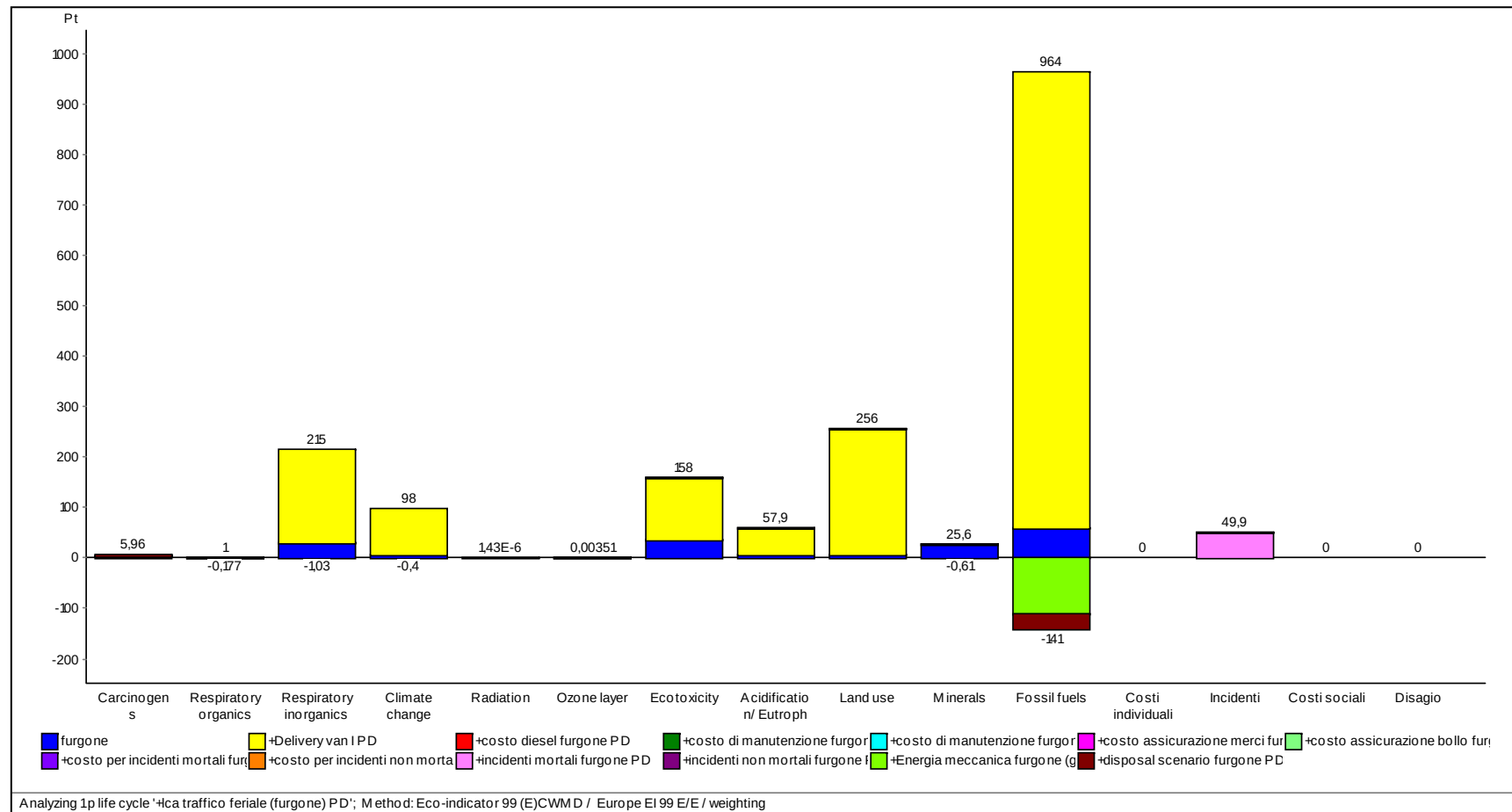
Parte II – Capitolo 3

Tabella 57 - Valutazione LCA Traffico Feriale Furgone PD

SimaPro 5.0	LCIA Profile	Date	28/03/2003		Time	13.16.15										
Project: traffico Padova		:														
Method:		Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E														
Value:		Weighted indicator														
Per impact category:		Yes														
Impact category	Unit	Total	furgone	+Delivery van I PD	+costo diesel furgone PD	+costo di manutenzi one furgone ordinaria PD	+costo di manutenzi one furgone straordinaria PD	+costo assicurazi one merci furgone PD	+costo assicurazi one bollo furgone PD	+costo per incidenti mortali furgone PD	+costo per incidenti non mortali furgone PD	+incidenti i mortali furgone PD	+incidenti non mortali furgone PD	+Energia meccanica furgone (gasolio) PD	+disposal scenario furgone PD	
Total	Pt	1,690E+03	1,650E+02	1,610E+03	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	4,860E+01	1,270E+00	-1,120E+02	-2,770E+01	
Carcinogens	Pt	5,960E+00	1,820E+00	2,280E+00	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1,860E+00	
Respiratory organics	Pt	8,270E-01	9,380E-02	9,100E-01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-1,770E-01	
Respiratory inorganics	Pt	2,140E+02	2,900E+01	1,860E+02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-1,030E+00	
Climate change	Pt	9,760E+01	4,900E+00	9,310E+01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-4,000E-01	
Radiation	Pt	1,430E-06	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1,430E-06	
Ozone layer	Pt	3,510E-03	2,590E-03	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	9,240E-04	
Ecotoxicity	Pt	1,580E+02	3,590E+01	1,220E+02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2,330E-01	
Acidification/ Eutrophication	Pt	5,790E+01	4,460E+00	5,340E+01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1,600E-02	
Land use	Pt	2,560E+02	5,390E+00	2,500E+02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	5,500E-01	
Minerals	Pt	2,500E+01	2,550E+01	1,410E-01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-6,100E-01	
Fossil fuels	Pt	8,230E+02	5,820E+01	9,060E+02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-1,120E+02	-2,820E+01	
Costi individuali	Pt	0,000E+00	0,000E+00	x	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	x	x	x	x	x	0,000E+00	
Incidenti	Pt	4,990E+01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	4,860E+01	1,270E+00	x	x	
Costi sociali	Pt	0,000E+00	x	x	x	x	x	x	x	0,000E+00	0,000E+00	x	x	x	0,000E+00	
Disagio	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

Parte II – Capitolo 3

Figura 27 - Valutazione LCA Traffico Feriale Furgone PD



Parte II – Capitolo 3

Figura 28 - Valutazione LCA Traffico Feriale Furgone PD, per categoria di Danno

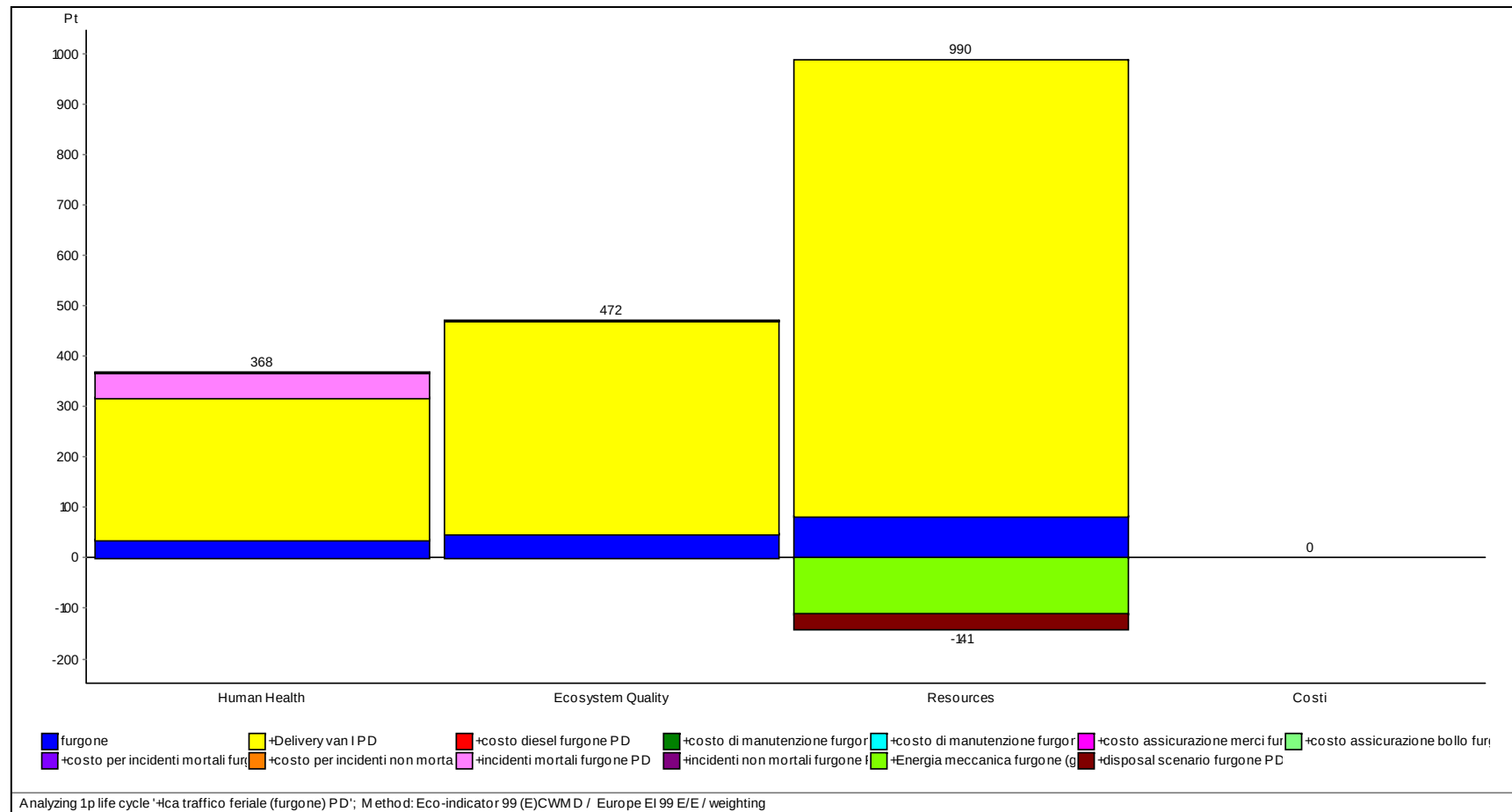
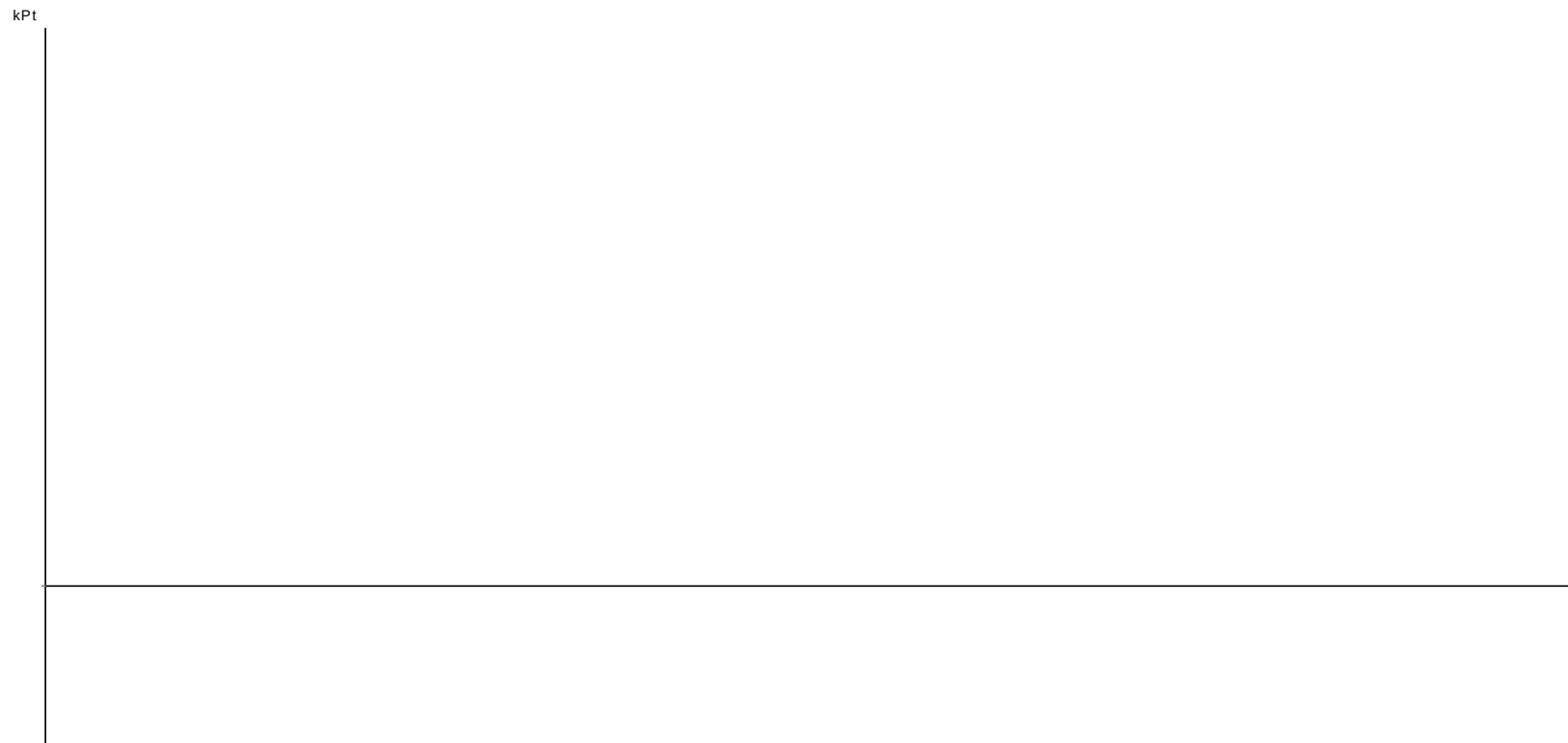


Figura 29 - Valutazione LCA Traffico Feriale Furgone PD, in base alle Componenti



Analyzing 1p life cycle - lca traffico feriale (furgone) PD; Method: Eco-indicator 99 (E) CWMD / Europe EI 99 E/E / single score

3.7 LCA del traffico feriale dei veicoli commerciali pesanti

3.7.1 Introduzione

Il parco veicolare dei veicoli commerciali è costituito, secondo i dati ACI⁶⁸, per oltre il 15%, pari a 1391 unità, da veicoli commerciali pesanti, ossia quei veicoli con massa a pieno carico superiore a 3,5 tonnellate.

Le indagini sul campo effettuate dal Comune di Padova⁶⁹ hanno individuato 37.263 veicoli pesanti ($2n_{\text{veicolipesanti}}$) in transito nell'area oggetto di studio. Il dettaglio non consente, però, di discriminare tra autobus e veicoli commerciali; è necessario, pertanto, ipotizzare che i mezzi del trasporto pubblico siano in numero pari alle corse effettuate dall'azienda ex-municipalizzata nel corso delle 12 ore di campagna. Tra le 7 e 30 e le 19 e 30, le corse che APS Mobilità offre alla clientela sono 2133 ($n_{\text{corseautobus}}$). Poiché le rilevazioni contemplano sia gli ingressi che le uscite dall'area oggetto di studio, 37.263 rappresenta, ai fini del nostro studio, il doppio degli effettivi mezzi pesanti circolanti ($n_{\text{veicolipesanti}} = 18.632$). I veicoli commerciali pesanti effettivamente circolanti sono pertanto la differenza tra $n_{\text{veicolipesanti}}$ e $n_{\text{corseautobus}}$, ovvero 16.499.

In questo paragrafo verrà descritto il procedimento utilizzato per la realizzazione dell'analisi del ciclo di vita del traffico riferibile ai soli veicoli commerciali pesanti. Si procederà seguendo la struttura utilizzata dal codice al fine da dare una migliore leggibilità dei risultati.

3.7.2 Assembly dello camion

3.7.2.1 Le caratteristiche generali

Per la realizzazione dell'*assembly*, sono stati utilizzati i dati, forniti da IVECO relativi ad un veicolo di circa 7 tonnellate di tara, con uno sbalzo anteriore di 1,5 m, uno posteriore di 2 m, passo di 4 m e una lunghezza totale di 7,5 m.

⁶⁸ Cfr. Inventario Copert III su www.aci.it

⁶⁹ Cfr. Comune di Padova - Settore Trasporti e Mobilità, Indagine cordonale 1997, aggiornata al 2000.

Si è ipotizzata una vita media del veicolo di 4 anni, con una percorrenza complessiva massima di 600.000 km. Il prezzo⁷⁰ è fissato in 100.100 € ed è relativo ad un modello “IVECO Eurotech 260E35” con le seguenti caratteristiche: 7.790 cc di cilindrata, 259 kW (352 CV), p.t.t. 26 tonnellate. Nell’*assembly* esso è posto sotto il processo con nome costo produzione camion PD. Questo stesso modello è stato utilizzato come riferimento per la determinazione degli altri costi operativi. In Tabella 58 è indicato l’*assembly* camion PD.

Tabella 58 – Assembly Camion PD

SimaPro 5.0		Product stages	Date: 28/03/2003
Project: traffico Padova			Time: 12.23.25
Name	Comment		
+camion PD	7000kg sbalzo posteriore 2m sbalzo anteriore 1.5m passo 4m lunghezza totale 7.5m dati IVECO		
Materials/Assemblies	Amount	Unit	Comment
GGG40 I	1102,5	kg	17.5%90%7000kg=1102.5kg
AlCuSiMg (2036) I	583	kg	7.5%90%7000kg=472.5kg
C45 I	4410	kg	70%90%7000kg=4410kg
Cu-E I	315	kg	5%90%7000kg=315kg
Glass gas-fired bj	70	kg	10%10%7000kg=70kg
ABS 30% glass fibre I	140	kg	1/2(40%10%7000kg=140kg
PVC I	140	kg	1/2(40%10%7000kg=140kg
SBR I	350	kg	50%10%7000kg=350kg
Processes	Amount	Unit	Comment
Cast work, non-ferro	1102,5	kg	
Aluminium extrusion	583	kg	
Cold transforming steel	4410	kg	
Copper wire	315	kg	
Injection moulding I	140	kg	
Injection moulding I	140	kg	
Blow moulding	350	kg	
+costo produzione camion PD	1	p	

⁷⁰ Cfr. Tuttotrasporti – Novembre 2002.

3.7.2.2 La caratterizzazione e la valutazione dell'assembly Camion

Dai risultati della caratterizzazione (Tabella 58 e Figura 30) si può osservare⁷¹:

- Nella categoria di danno **Human Health**, il danno totale è pari a 0,0321 DALY. Il danno maggiore (0,0265 DALY) è dovuto alla categoria di impatto Respiratory Inorganics. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto a Cu-E I (0,0123 DALY) a causa della emissione in atmosfera di 212 kg di SO₂ e a C45 I (0,0061 DALY).
- Nella categoria di danno **Ecosystem Quality**, il danno totale è pari a 7.010 PDF·m²·y. Il danno maggiore (5.220 PDF·m²·y) è dovuto alla categoria di impatto Ecotoxicity. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto al cast work non ferro (4.980 PDF·m²·y), processo usato per considerare la fusione della ghisa a causa della emissione in atmosfera di 1,65 kg di Zn.
- Nella categoria di danno **Resources**, il danno totale è pari a 39.400 MJ Surplus. Il danno maggiore (22.800 MJ surplus) è dovuto alla categoria di impatto Fossil Fuels. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto al material C45 I (7.390 MJ surplus) a causa del consumo di 2.510 kg di coal.

Dai risultati della valutazione (Tabella 60 e Figura 31) si osserva che:

- Il **danno totale** vale 2.630 Pt di cui il 29,59% è dovuto a Cu-E I e il 22,81% è dovuto a Castwork, non-ferro.
- Il danno è dovuto principalmente alla categoria di danno Resources (50,28%) e alla categoria di impatto Fossil Fuels (29,08%).

⁷¹ Per una definizione delle unità di misura adottate in fase di caratterizzazione e valutazione, cfr. § 1.4.5.

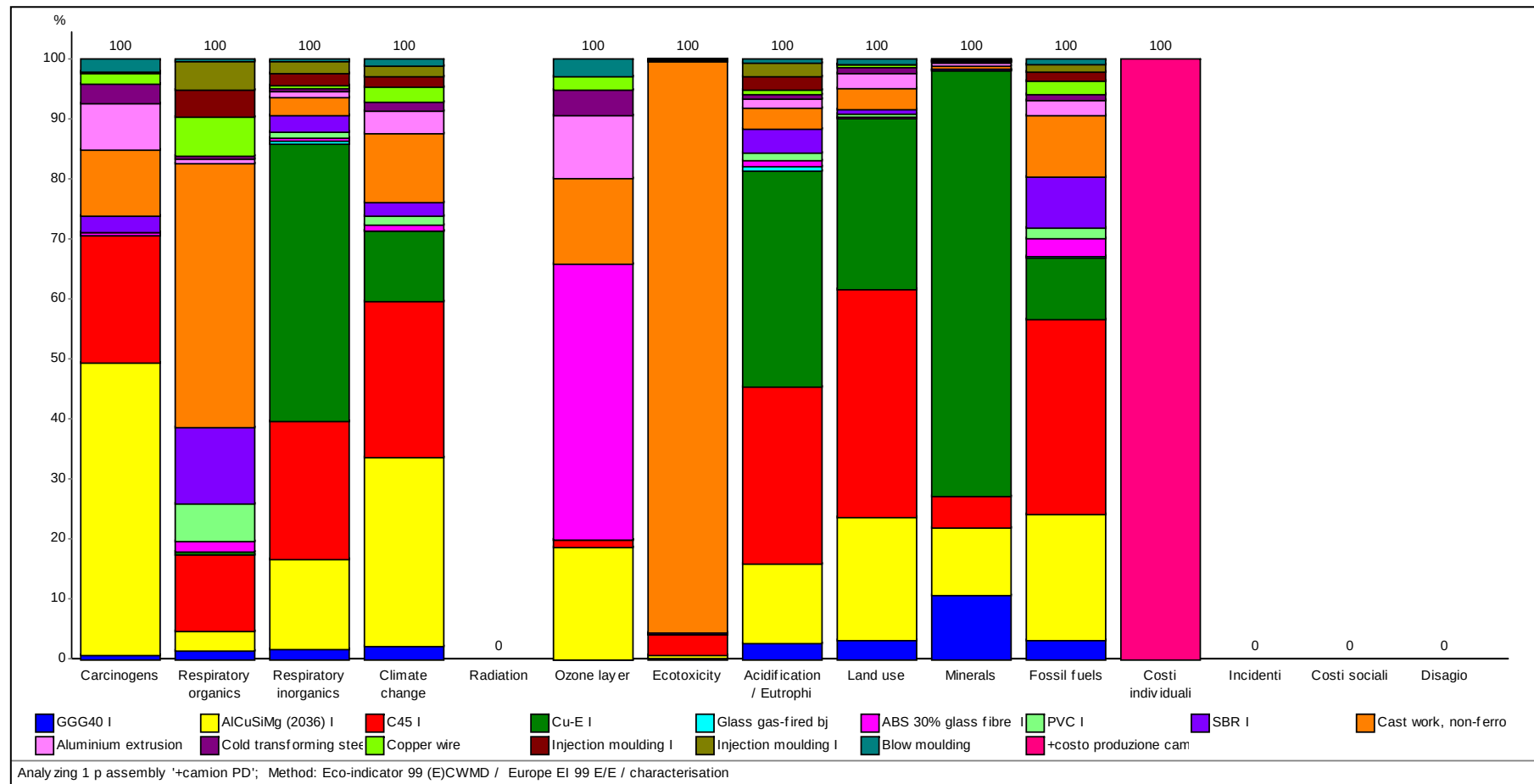
Parte II – Capitolo 3

Tabella 59 - Caratterizzazione dell'assembly Camion PD

SimaPro 5.0		LCIA Profile		Date:	04/03/2003		Time:		18.46.18									
Project: traffico Padova																		
Method:		Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E																
Value:		Impact indicator																
Per impact category:		Yes																
Impact category	Unit	Total	GGG40 I	AlCuSi Mg (2036) I	C45 I	Cu-E I	Glass gas-fired bj	ABS 30% glass fibre I	PVC I	SBR I	Cast work, non-ferro	Aluminium extrusion	Cold transforming steel	Copper wire	Injection moulding I	Blow moulding	+costo produzione camion PD	
Carcinogens	DALY	0.00131	8.54E-6	0.000641														

Parte II – Capitolo 3

Figura 30 - Caratterizzazione dell'assembly Camion PD



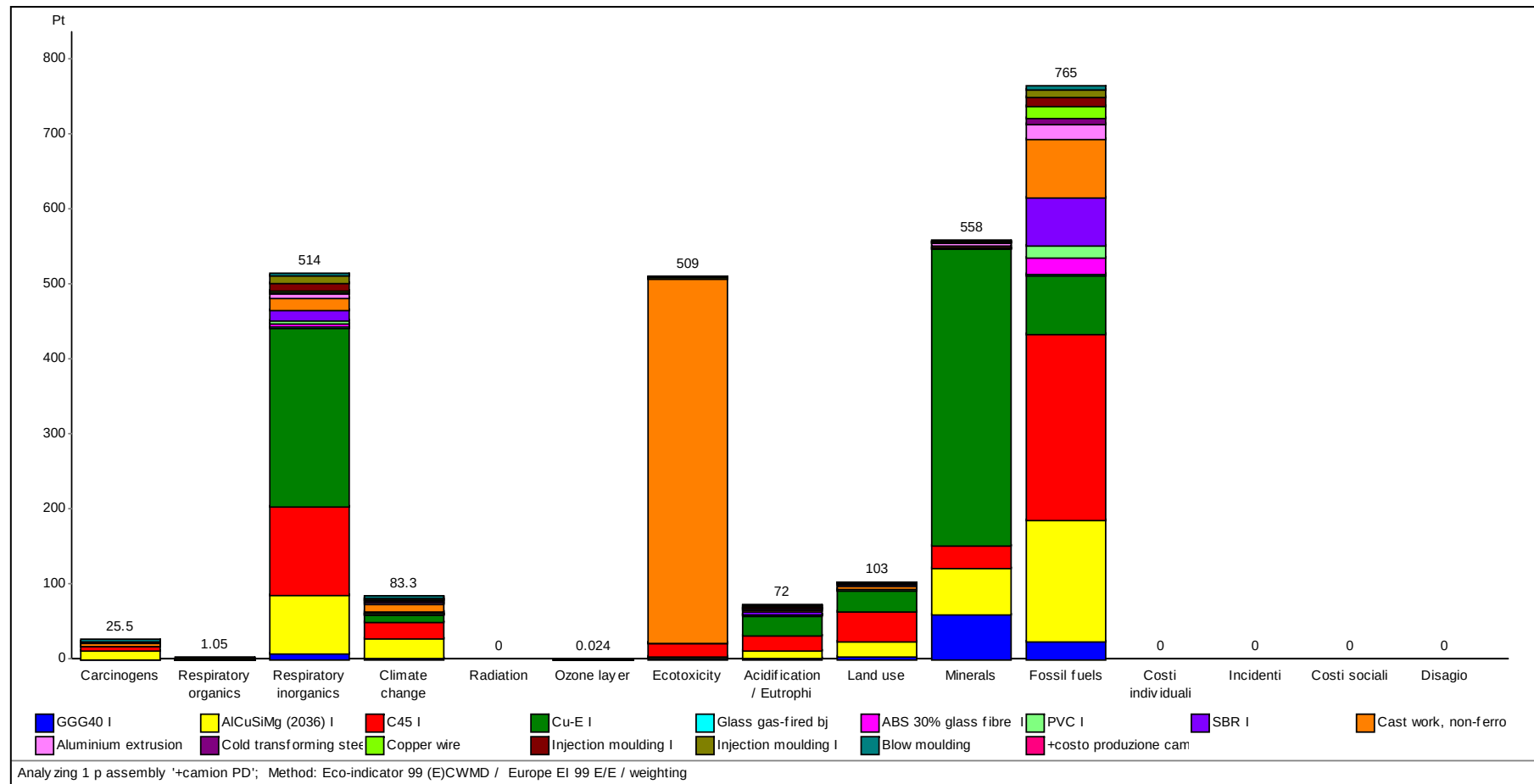
Parte II – Capitolo 3

Tabella 60 - Valutazione dell'assembly Camion PD

SimaPro 5.0	LCIA Profile	Date	04/03/2003	Time:	18.47.07														
Project: traffico Padova																			
Method:		Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E																	
Value:		Weighted indicator																	
Per impact category:		Yes																	
Impact category	Unit	Total	GGG40 I	AlCuSiMg (2036) I	C45 I	Cu-E I	Glass gas-fired bj	ABS 30% glass fibre I	PVC I	SBR I	Cast work, non-ferro	Aluminium extrusion	Cold transforming steel	Copper wire	Injection moulding I	Injection moulding I	Blow moulding	+costo produzione camion PD	
Total	Pt	2.63E3	1,03E+02	3,72E+02	5,01E+02	7,78E+02	1,58E-01	1,17E+00	8,79E-01	3,63E+00	6,00E+02	1,59E+00	6,31E-01	9,63E-01	9,64E-01	9,64E-01	4,39E-01	0	
Carcinogens	Pt	1,05E+00	1,15E-01	5,03E-01	2,38E-01	0.00906	x	7,08E-02	9,51E-02	4,96E-01	1,37E-01	8,40E-02	5,77E-01	3,09E-01	9,31E-02	9,31E-02	3,63E-01	x	
Respiratory organics	Pt	4,51E-02	1,02E-01	2,41E-01	9,31E-02	0.00517	x	1,24E-01	4,61E-01	9,31E-02	3,22E-01	0.00954	0.00394	4,74E-01	3,39E-01	3,39E-01	0.00247	x	
Respiratory inorganics	Pt	5,14E+02	3,95E-01	7,70E+01	1,18E+02	2,38E+02	9,65E-02	1,28E-01	1,95E-01	5,88E-01	5,88E-01	2,72E-01	8,75E-02	1,02E-01	4,41E-01	4,41E-01	8,61E-02	x	
Climate change	Pt	3,46E+00	1,10E-01	1,08E+00	8,81E-01	4,19E-01	4,95E-01	5,91E-01	5,76E-02	4,72E-02	4,22E-01	1,28E-01	5,97E-02	8,75E-02	7,78E-02	7,78E-02	5,48E-01	x	
Radiation	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Ozone layer	Pt	0.024	2.77E-5	0.00446	0.00034	2.25E-6	x	0.011	x	x	0.00344	0.0025	0.00103	0.000553	x	x	0.000648	x	
Ecotoxicity	Pt	5,09E+02	1,00E-01	1,15E-01	7,12E-01	3,29E-01	x	1,08E-01	7,50E-02	2,01E-02	4,85E+02	5,56E-01	2,29E-02	1,23E-01	1,69E-01	1,69E-01	1,44E-01	x	
Acidification/Eutrophication	Pt	7,20E+01	8,54E-02	4,05E-01	8,78E-01	1,05E+00	3,40E-01	5,27E-01	6,01E-01	1,51E-01	1,14E-01	5,49E-02	3,42E-01	3,48E-01	8,68E-02	8,68E-02	2,15E-01	x	
Land use	Pt	1,03E+02	1,51E-01	2,10E+01	1,63E+00	1,21E+00	x	1,97E-01	3,19E-01	5,13E-01	1,67E-01	1,27E-01	4,72E-02	4,03E-02	2,08E-6	2,08E-6	4,73E-01	x	
Minerals	Pt	5,58E+02	2,46E+00	2,59E+00	1,21E+00	3,96E+02	x	8,33E-03	0.00109	5,42E-02	1,57E-01	1,19E-01	4,44E-02	3,86E-01	8,61E-02	8,61E-02	4,53E-01	x	
Fossil fuels	Pt	7,65E+02	1,01E+00	1,61E+02	2,48E+02	3,29E+00	5,00E-02	9,22E-01	5,87E-01	2,67E+00	3,21E+00	7,97E-01	3,44E-01	1	4,20E-01	4,20E-01	2,17E-01	x	
Costi individuali	Pt	0,00E+00	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	
Incidenti	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Costi sociali	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Disagio	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

Parte II – Capitolo 3

Figura 31 - Valutazione dell'assembly Camion PD



3.7.3 Caratteristiche del traffico dei veicoli commerciali pesanti

3.7.3.1 La combustione e le emissioni

Le rilevazioni effettuate dal Comune di Padova relativamente ai veicoli commerciali pesanti indicano in 16.499 il numero complessivo di unità che hanno attraversato le barriere di rilevamento nell'arco delle dodici ore di campagna.

I dati forniti da ACI indicano che quasi l'intero parco veicoli di questa categoria è alimentato a gasolio. Il 70% dei camion, indipendentemente dal loro peso rientra nella categoria COPERT "Conventional", ovvero non è soggetta a nessuna limitazione rispetto alle emissioni in atmosfera. Un ulteriore 10% rientra nella normativa 91/542/EEC Stage I (Euro 1) e il 20% nella 91/542/EEC Stage II (Euro 2).

Poiché non è possibile individuare parametri univoci per le emissioni dei veicoli della categoria "Conventional", si è supposto che tutti i camion siano di tipo Euro 1.

Per la combustione si è, pertanto, utilizzato il processo *transport road Tractor I*, già presente nel codice, modificandolo per attribuirgli le emissioni previste dalla normativa per i motori Euro 1. La normativa esprime i parametri di emissione in rapporto al kWh, a differenza di quanto previsto per le autovetture o i veicoli commerciali leggeri dove parametri analoghi sono espressi in funzione dei chilometri.

È stata ipotizzata una velocità media di 30 km/h (v_{media}) ed una potenza di 200 kW a 2400giri/min, in Tabella 61 è esplicitato il calcolo dell'energia sviluppata al chilometro.

Tabella 61 - Calcolo energia sviluppata al chilometro

Velocità media (km/h)	30
Velocità media (km/min)	0,5
Potenza sviluppata (kW)	200
Energia (kWh)	3,33
Energia (kWh/km)	6,67

Con il parametro relativo all'energia utilizzata al chilometro è stato, infine, possibile rapportare le emissioni previste dalla normativa Euro 1 al consumo del veicolo

utilizzato nel modello, moltiplicando i valori espressi in g/kWh per il coefficiente calcolato. In particolare sono stati modificati i coefficienti di NO_x, CO, Metano, VOC e PM10 secondo la direttiva europea, lasciando inalterati gli altri parametri. In Tabella 62 è descritto il processo Tractor I Euro 1 PD.

Tabella 62 - Processo Tractor I Euro 1 PD

SimaPro 5.0 Processes Date: 28/03/2003				
Project: traffico Padova Time: 12.20.52				
Process				
Category type Transport				
Comment Average data for 1km with a tractor (Combustion only)				
Materials/fuels				
Diesel I	0,28	0	0	kg fuel consumption
Emissions to air				
SO2	0,0003	0	0	kg
NOx	53,336	0	0	g 8g/kWh*6.667kWh/km=53,336g/km
CO2	0,974	0	0	kg
CO	30,0015	0	0	g 4.5g/kWh*6.667kWh/km=30,0015g/km
methane	4,840242	0	0	g 1.1 * 67% g/kWh*6.667kWh/km=4,840242g/km (67% del totale previsto dai test ETC per gli HC)
VOC	2,420121	0	0	g 1.1 * 33% g/kWh*6.667kWh/km=2,420121g/km (33% del totale previsto dai test ETC per gli HC)
N2O	0,0002	0	0	kg
pentane	0,0001	0	0	kg
non methane VOC	0,00001	0	0	kg
methane	0,00004	0	0	kg
dust (PM10)	2,40012	0	0	g 0.36g/kWh*6.667kWh/km=2,40012g/km
Products				
+Tractor I Euro 1 PD	1	0	0	km Consumo:0,34 l/km potenza 200kW a 2400giri/min, 7800cm3 velocità 30km/h=0.5km/min 200kWmin/60min/h=3.33kWh in 1 min energia: 3.33kWh/0.5km=6.667kWh/km

Il processo è attribuito, nel calcolo, al numero effettivo di chilometri percorsi complessivamente dai veicoli commerciali pesanti circolanti durante una giornata tipo.

dell'ammortamento. In Tabella 63 sono evidenziati gli interventi ed i relativi costi.

Tabella 63 - Costi per la manutenzione ordinaria (Fonte: Tuttotrasporti – Novembre 2002)

Voce di costo	€/km
Costo tecnico per lubrificanti e pneumatici	0,08
Costo tecnico per manutenzione	0,06
Totale	0,14
Ammortamento	0,12
Totale complessivo	0,26

Il costo è attribuito, nel calcolo, ai chilometri complessivamente percorsi.

- **Costo di manutenzione straordinaria:** il numero di incidenti relativo ai soli veicoli commerciali pesanti è 0,02195 ma deve essere rapportato agli effettivi anni di vita del camion (4 anni). Il costo totale vale 51,57 €⁷². In Tabella 64 è esplicitato il calcolo dei costi.

Tabella 64 - Calcolo del costo unitario di riparazione per incidente

Incidenti (camion + furgoni)	72
Incidenti (auto)	1160
Incidenti auto in 10 anni	1
Incidenti camion + furgoni in 7 anni	$(72 \text{ incidenti} / 1160 \text{ incidenti}) \cdot 7 \text{ anni} / 10 \text{ anni} \cdot 1 \text{ incidente} = 0,0439$
Incidenti attribuibili ai soli camion (7 anni)	0,0220
Anni di vita di un camion	4
Incidenti attribuibili ai soli camion (4 anni)	0,0125
Costo di riparazione per incidente (€)	4125,46
Costo di manutenzione straordinaria (€)	51,75

⁷² Per una descrizione più dettagliata del processo, cfr. § 3.6.3.3 (Costo di manutenzione straordinaria furgone).

Il valore è attribuito, nel calcolo, ai cicli di vita di veicoli commerciali pesanti complessivamente considerati.

- **Costo assicurazione e bollo:** è il processo per la valutazione dei costi relativi al premio assicurativo e alla tassa di circolazione (bollo). Entrambi i valori vengono valutati relativamente ad un giorno. Per l'assicurazione è stato preso come riferimento il profilo I del tariffario aggiornato al 1° semestre 2003 elaborato dall'ISVAP⁷³. Si è considerato il valore medio dei premi stabiliti dalle compagnie di assicurazione per: *“Imprese esercenti l'autotrasporto di cose in conto terzi, che si assicurano per la prima volta, con la formula tariffaria pejus, con un massimale pari a quello minimo previsto dalla legge vigente per un veicolo con massa totale a pieno carico di 44 tonnellate (L. 5 marzo 2001, n° 57, art. 1, comma 4, lett. i))”* (Profilo I). Il valore è pari a 5751.40 €, ovvero 15.76 € al giorno.

Per la tassa di circolazione, si è fatto riferimento ai dati ACI⁷⁴ per un veicolo di caratteristiche analoghe a quello individuato come modello (diesel, 7.790 cc di cilindrata, 3 assi, 259 kW (352 CV), passo 4200 mm, tara 7.48 t, p.t.t. 26 t). L'importo è pari a 1143.59 €, ovvero 3.13 € al giorno.

Questi valori vengono attribuiti, nel calcolo, al numero di furgoni effettivamente circolanti durante una giornata tipo.

- **Costo di assicurazione merci:** non esiste una normativa specifica che obblighi gli autotrasportatori a sottoscrivere un'assicurazione per danni alle merci trasportate. Generalmente i risarcimenti avvengono in base al peso e non in riferimento al reale valore attribuito dal proprietario del bene, eccezion fatta per contratti di assicurazione specifici stipulati al momento della presa in carico da parte del trasportatore. Per tutelarsi da eventuali danni alla merce, i titolari del servizio di consegna stipulano generalmente un'assicurazione che copra

⁷³ Cfr. www.isvap.it - Sito dell'Istituto di Vigilanza sulle Imprese Assicuratrici.

⁷⁴ Cfr. www.aci.it - Sito dell'Automobil Club d'Italia - Servizio di calcolo Bollo Auto.

esclusivamente i risarcimenti previsti con le modalità sopra indicate. L'ammontare di questa polizza è stato calcolato in 1.032.91 € ed è stato attribuito ad un giorno (2,83 €).

Questo valore viene attribuito, nel calcolo, al numero di furgoni effettivamente circolanti durante la giornata tipo.

3.7.3.4 Gli incidenti ed i costi sociali

Unitamente ai costi sostenuti per l'utilizzo quotidiano del veicolo per lavoro, sono stati presi in considerazione i costi indiretti connessi agli incidenti. I dati ISTAT indicano per l'anno 2000 la presenza di 1 persona deceduta e 71 ferite per incidenti nei quali sono state coinvolte veicoli commerciali leggeri e pesanti. Poiché le rilevazioni non consentono un dettaglio più preciso per la distinzione tra incidenti attribuibili ad una categoria o all'altra, si ipotizza di assegnare a ciascuna di esse la metà degli incidenti mortali e non mortali.

- **Incidenti mortali e non mortali camion:** sulla base delle considerazioni sopra esposte si ha che, statisticamente, ogni camion è stato causa di $3,030e-05$ morti (pari a 0,5 morti / 16499 camion) e di $2,152e-03$ feriti (pari a 35,5 feriti / 16499 camion). Entrambi questi valori devono essere rapportati all'intera vita del veicolo commerciale, supposta di 4 anni. Pertanto durante l'intero periodo di utilizzo del veicolo, esso è responsabile di $1,212e-04$ morti e $8,608e-03$ feriti. Questi valori vengono attribuiti, nel calcolo, ai cicli di vita di furgoni complessivamente considerati.
- **Costo per incidenti mortali:** è il processo per la valutazione dei costi sociali connessi ai decessi occorsi a seguito di incidente stradale nel quale è stato coinvolto uno camion⁷⁵. In Tabella 65 viene esplicitato il procedimento di calcolo utilizzato per la determinazione del parametro di costo.

⁷⁵ Cfr. § 3.4.3.4 (Costo per incidenti mortali automobili).

Il valore è attribuito, nel calcolo, ai cicli di vita di veicoli commerciali pesanti complessivamente considerati.

Tabella 65 - Costo sociale per incidenti mortali

Fattore di ponderazione per incidenti automobilistici (DALY)	44,2857
Camion circolanti nella giornata tipo	16499
Stipendio medio annuo (€)	15493,71
Morti/anno a seguito di incidenti stradali con camion	0,5
Anni di vita di un camion	4
Costo sociale (€)	(44,2857 DALY / 16499 camion) · 15493,71 € · 0,5 morti · 4 anni = 83,17 €

- **Costo per incidenti non mortali:** è il processo per la valutazione dei costi sociali connessi alle persone ferite a seguito di incidente nel quale è stato coinvolto un veicolo commerciale pesante⁷⁶. In Tabella 66 è esplicitato il procedimento di calcolo utilizzato per la determinazione del parametro di costo. Il valore è attribuito, nel calcolo, ai cicli di vita di camion complessivamente considerati.

Tabella 66 - Costo sociale per incidenti non mortali

Camion circolanti nella giornata tipo	16499
Costo per 1 giorno di degenza (€)	361,52
Feriti/anno a seguito di incidenti stradali con camion	35,5
Giorni di degenza considerati	15
Anni di vita di un camion	4
Costo sociale (€)	(35,5 feriti · 4 anni) / 16499 furgoni · 361,52 € · 15 giorni = 46,67 €

⁷⁶ Cfr. § 3.4.3.4 (Costo per incidenti non mortali automobili).

3.7.3.5 L'energia meccanica prodotta

Il veicolo assunto come modello ha un rendimento del 12,60% ed un consumo di 0,29 kg di combustibile al km. Il potere calorico del gasolio è posto pari a 45,4 MJ/kg. In Tabella 67 è esplicitato il calcolo dell'energia meccanica guadagnata da ogni veicolo commerciale pesante del sistema considerato per ogni km percorso⁷⁷. Questo valore, posto negativo, è attribuito, nel calcolo, ai chilometri complessivamente percorsi da tutti i veicoli commerciali pesanti circolanti durante la giornata tipo.

Tabella 67 - Energia meccanica prodotta dalla combustione

Rendimento considerato (%)	12,60
Potere calorico del gasolio (MJ/kg)	45,40
Consumo (kg/km)	0,280
Percorrenza (km/kg)	3,57
Energia meccanica (MJ/km)	$12,6\% \cdot 45,40 \text{ MJ/kg} \cdot 0,280 \text{ kg/km} = 1,601712$

3.7.3.6 Il parco veicolare e le percorrenze

Secondo i dati forniti dal Settore Mobilità del Comune di Padova⁷⁸, nella giornata tipo all'interno dell'area oggetto di studio transitano in entrata e in uscita 37.263 veicoli pesanti. Si ricava che i veicoli commerciali pesanti effettivamente circolanti sono 16.499⁷⁹.

I dati forniti da ACI indicano la presenza di 1.391 veicoli commerciali immatricolati. Complessivamente oltre il 98% di essi è alimentato a gasolio; i carburanti alternativi assorbono complessivamente meno del 2% del totale. La distribuzione in base alla portata, evidenzia una sostanziale omogeneità tra le diverse classi: prevalgono i veicoli di media capacità (40% del totale) e le categorie da 3,6 a 7,5 t e da 16 a 32 t

⁷⁷ Per una breve descrizione del processo legato all'energia meccanica prodotta, cfr. § 3.4.3.5.

⁷⁸ Cfr. Comune di Padova - Settore Trasporti e Mobilità, Indagine cordonale 1997, aggiornata al 2000.

⁷⁹ Per una descrizione più dettagliata del procedimento utilizzato per il calcolo dei veicoli commerciali pesanti circolanti, cfr. § 3.7.1.

rappresentano entrambe circa il 30%. Relativamente alle emissioni in atmosfera, oltre il 70% dei mezzi è di tipo “Conventional”, non è soggetto, cioè, ad alcuna restrizione, circa il 10% è sottoposto alla prima fase della normativa 91/542 (c.d. Euro 1) e quasi il 20% alla seconda fase (c.d. Euro 2).

In Tabella 68 è indicata la distribuzione dei veicoli in base al carburante utilizzato, in Tabella 69 quella in base al p.t.t. e in Tabella 70 quella relativa alle specifiche di emissione previste dalla normativa, secondo il programma COPERT III.

Tabella 68 - Distribuzione veicoli commerciali pesanti per carburante (Fonte: ACI)

Carburante	%	Camion
Benzina	1,4%	19
Gasolio	98,5%	1.371
GPL	0,1%	1
Totale	100,0%	1.391

Tabella 69- Distribuzione veicoli commerciali pesanti per p.t.t. (Fonte: ACI)

P.t.t.	%	Camion
Da 3,6 a 7,5 t	28,3%	394
Da 7,6 a 16 t	40,4%	562
Da 16,1 a 32 t	30,6%	426
Oltre 32 t	0,6%	9
Totale	100,0%	1.391

Tabella 70- Distribuzione veicoli commerciali pesanti per limiti di emissione (Fonte: ACI)

Limiti di emissione	%	Camion
Non identificato	0,1%	2
Convenzionali	71,0%	987
98/69 Euro III	0,2%	3
91/542/EEC Stage II	18,8%	262
91/542/EEC Stage I	9,8%	137
Totale	100,0%	1.391

Si ipotizza che ogni veicolo percorra una distanza pari al doppio del diametro del cerchio equivalente all'area oggetto di studio (6,8 kmq) a seguito del fatto che effettua un tragitto maggiore per le consegne da portare a termine.

Secondo le ipotesi iniziali, un veicolo commerciale pesante nell'arco della propria vita percorre complessivamente 600.000 km; è, pertanto, possibile calcolare il numero di cicli di vita necessari a modellare complessivamente i veicoli commerciali circolanti in un giorno feriale nell'area oggetto di studio (Tabella 71).

Tabella 71 - LCA Camion complessivi

Area oggetto di studio (kmq)	6,800
Raggio del cerchio equivalente (km)	1,425
Diametro del cerchio equivalente (km)	2,850
Distanza effettivamente percorsa (km)	5,700
Camion circolanti circolanti (n _{vc})	16.499
Km totali di vita di un'auto (km)	600.000
LCA complessivi	(16.499 furgoni / 600.000 km) · 5,700 km = 0,15674

3.7.4 Caratterizzazione e Valutazione di LCA Traffico Feriale Camion

Di seguito vengono presentati il Product Stage relativo al ciclo di vita che modella il traffico dei veicoli commerciali pesanti nell'area oggetto di studio (Tabella 72), la caratterizzazione (Tabella 73) e il calcolo complessivo dei danni generati (Tabella 74)⁸⁰.

3.7.4.1 La caratterizzazione di LCA Traffico Feriale Camion

Dall'analisi della caratterizzazione (Tabella 73 e Figura 32) è possibile trarre alcune considerazioni:

- Il **costo individuale totale**, inteso come costo complessivo sostenuto da tutti i soggetti privati che utilizzano i mezzi di trasporto considerati nell'arco della giornata, vale 426.000 €, rappresentato per oltre il 84% dai costi operativi sostenuti per l'assicurazione. Nello specifico i costi per l'assicurazione RC e la

⁸⁰ Per una definizione delle unità di misura adottate in fase di caratterizzazione e valutazione, cfr. §

tassa di circolazione (bollo) incidono per 312.000 € (73,14%) e i costi per l'assicurazione per le merci incidono per 46.700 € (10,96%). In misura paragonabile incidono i costi per l'acquisto del carburante 27.600 (pari al 6,5%) ed i costi per la manutenzione ordinaria 24.500 (5,74%);

- Il **costo sociale** presenta un saldo positivo di 122 € dovuto alla differenza tra guadagni dovuti ai processi di rottamazione (143 €) ed i costi per gli incidenti mortali (13 €) e non (7,32 €);
- Il danno dovuto agli **incidenti** vale $8,63 \times 10^{-4}$ DALY, che corrisponde a circa 8 ore di vita perse dalle persone che in un giorno accedono all'area cordonale di Padova. Il danno è imputabile quasi esclusivamente agli incidenti mortali (oltre il 97%);
- Nella categoria di danno **Human Health** (il cui danno totale è pari a 0,454 DALY escludendo il danno da incidenti) il danno maggiore (0,43 DALY) è dovuto alla categoria di impatto Respiratory Inorganics. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto ai processi di combustione del motore (0,426 DALY) a causa della emissione di 3.970 kg di NO_x , prodotto dai processi di combustione del gasolio, che apportano un danno di 0,354 DALY. Un contributo notevole è dato anche dalla CO_2 (0,0208 DALY), a seguito delle emissioni in atmosfera di 99,1 tonnellate e dal particolato (0,0656 DALY) a seguito dell'emissione di 175 kg;
- Nella categoria di danno **Ecosystem Quality** (24.000 $\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{y}$) il danno maggiore (22.900 $\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{y}$) è dovuto alla categoria di impatto Acidification/Eutrophication. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto ai processi di combustione del motore diesel (22.800 $\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{y}$, sono dovuti alla NO_x , a causa della emissione di 3.970 kg di NO_x prodotto dai processi di combustione del gasolio;

- Nella categoria di danno **Resources** (90.800 MJ Surplus), il danno maggiore (88.400 MJ surplus) è dovuto alla categoria di impatto Fossil Fuels. Il contributo maggiore a tale danno è determinato dai processi di combustione del motore diesel (101.000 MJ Surplus) e viene ridotto di circa il 15% dal guadagno derivante dall'energia meccanica prodotta (12.500 MJ Surplus) e dai processi di rottamazione (3.470 MJ Surplus). È importante sottolineare come il processo di produzione del veicolo e i processi di rottamazione con relativo recupero portino ad un sostanziale pareggio di energia. Il primo infatti produce un danno di 3.570 MJ Surplus, il secondo ad un guadagno di 3.470 MJ Surplus.

3.7.4.2 La valutazione di LCA Traffico Feriale Camion

Dall'analisi della valutazione (Tabella 74 e Figura 36, Figura 37, Figura 38) è possibile trarre alcune considerazioni:

- Il **danno totale** vale 14.200 Pt dovuto principalmente, per oltre il 62%, alla categoria di danno Human Health (8.830 Pt). Le altre due categorie, Resources e Ecosystem Quality, incidono in maniera paragonabile, rispettivamente 21,45% e 16,47%.
- Il danno è dovuto principalmente alla categoria di impatto Respiratory Inorganics (58,63%) e Fossil Fuels (20,88%). Significativo è anche il contributo della categoria Acidification/Eutrophication con 15,68%.
- Nella categoria di danno Resources (3.050 Pt) si ha anche un guadagno ambientale di -544 Pt dovuto all'energia meccanica prodotta e al fine vita (rottamazione).

Tabella 72 – LCA Traffico Feriale Camion PD

SimaPro 5.0		Product stages		Date:	28/03/2003
Project: traffico Padova				Time:	14.58.54
Life cycle:					
Name		Comment			
+lca traffico feriale (camion) PD		Dati dell'indagine cordonale 1997 (aggiornati al 2000): camion rilevati: 32998 camion circolanti: 16499 area oggetto di studio: 6.380.000 mq (pari a 6,38 kmq) raggio cerchio equivalente: 1,425 km diametro del cerchio equivalente: 2,850 km Km percorsi in una giornata: 2.850 km * 2 = 5,7 km (nell'ipotesi che il camion percorra più strada perchè esegue più consegne). Cicli di vita di camion totali: (16499 camion / 600.000 km) * 5.7 km = 0,1567405			
Assembly		Amount	Unit	Comment	
+camion PD		0,1567405	p	Si considera un camion della portata di 19t che viaggia a metà carico (il p.t.t. è di 26t con una tara di 7t) Vita media: 4 anni Percorrenza complessiva: 600.000 km Cicli di vita totali: 16499 / 600.000 km * 5.7 km = 0,1567405	
Processes		Amount	Unit	Comment	
+Tractor I Euro 1 PD		94044,3	km	16499 * 5,7 km = 94044,3 km	
+costo diesel camion PD al km		94044,3	km	16499 * 5,7 km = 94044,3 km	
+costo di manutenzione camion ordinaria PD		94044,3	km	16499 * 5,7 km = 94044,3 km (km per i quali si usa il costo chilometrico €/km per la manutenzione ordinaria)	
+costo di manutenzione camion straordinaria PD		0,1567405	p	(16499 camion / 600.000 km) * 5.7 km = 0,1567405 (camion per i quali calcolare i costi sostenuti per la manutenzione straordinaria in 4 anni)	
+costo assicurazione bollo camion PD		16499	p	32998 camion / 2 = 16499 camion (camion per i quali si calcola il costo di assicurazione e bollo) = camion circolanti	
+costo assicurazione merci camion PD		16499	p	32998 camion / 2 = 16499 camion (camion per i quali si calcola il costo di assicurazione merci) = camion circolanti	
+costo per incidenti mortali camion PD		0,1567405	p	(16499 camion / 600.000 km) * 5.7 km = 0,1567405 (camion per i quali calcolare i costi per incidenti mortalì in 4 anni)	
+costo per incidenti non mortali camion PD		0,1567405	p	(16499 camion / 600.000 km) * 5.7 km = 0,1567405 (camion per i quali calcolare i costi per incidenti non mortalì in 4 anni)	
+incidenti mortali camion PD		0,1567405	p	(16499 camion / 600.000 km) * 5.7 km = 0,1567405 (camion per i quali calcolare il numero di incidenti mortalì in 4 anni)	
+incidenti non mortali camion PD		0,1567405	p	(16499 camion / 600.000 km) * 5.7 km = 0,1567405 (camion per i quali calcolare il numero di incidenti non mortalì in 4 anni)	
+Energia meccanica camion (diesel) PD		94044,3	km	16499 * 5,7 km = 94044,3 km (km per i quali valutare il guadagno derivato dalla produzione di energia meccanica necessaria al movimento dei veicoli)	
Waste/Disposal scenario		Comment			
+disposal scenario camion PD					

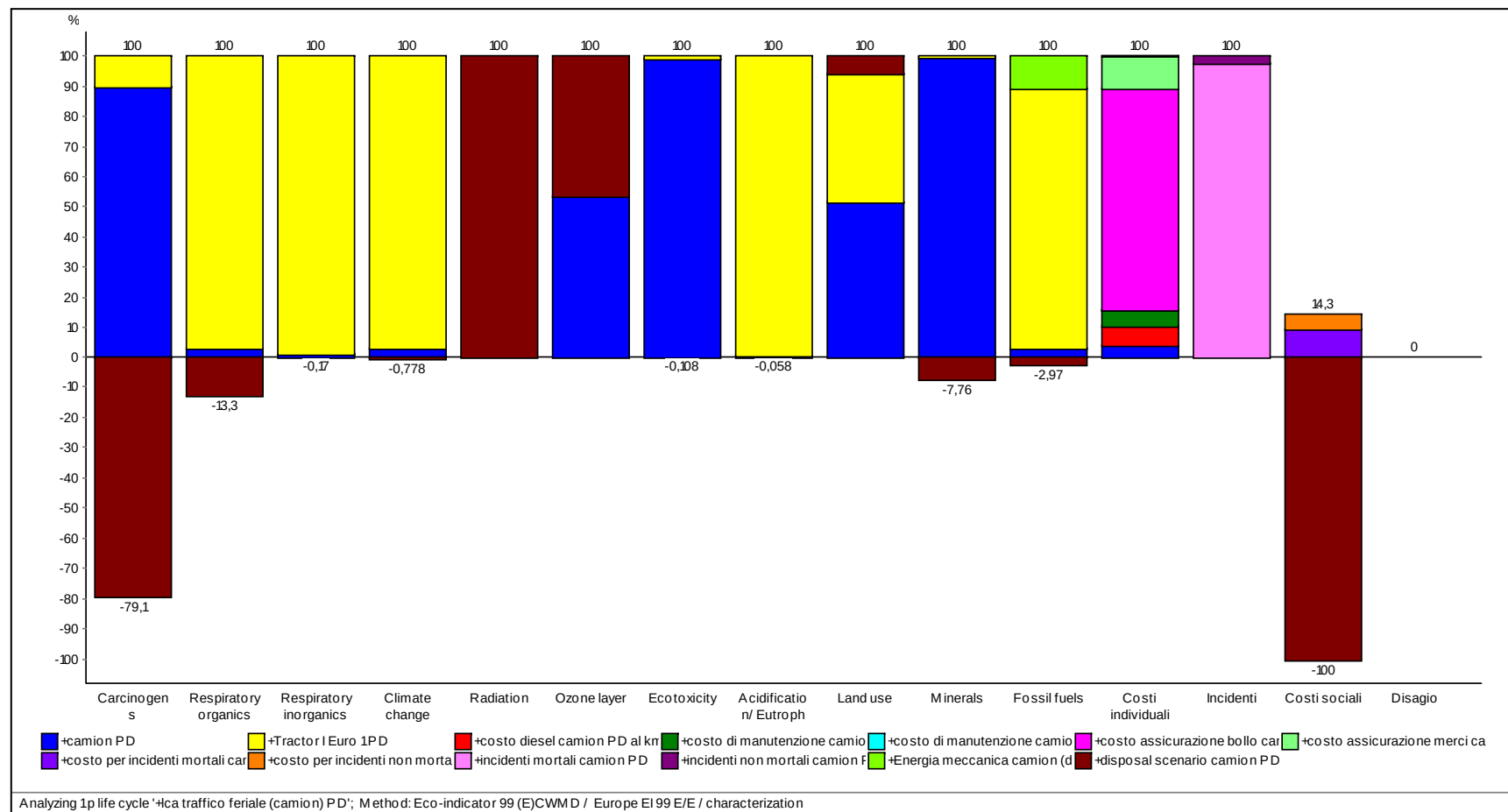
Parte II – Capitolo 3

Tabella 73- Caratterizzazione LCA Traffico Feriale Camion PD

SimaPro 5.0		LCIA Profile	Date:	28/03/2003											
Project: traffico Padova			Time:	13.11.35											
Method:		Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E													
Value:		Impact indicator													
Per impact category:		Yes													
Impact category	Unit	Total	+camion PD	+Tractor I Euro 1 PD	+costo diesel camion PD al km	+costo di manutenzione camion ordinaria PD	+costo di manutenzione camion straordinaria PD	+costo assicurazione bollo camion PD	+costo assicurazione merci camion PD	+costo per incidenti mortali camion PD	+costo per incidenti non mortali camion PD	+incidenti mortali camion PD	+incidenti non mortali camion PD	+Energia meccanica camion (diesel) PD	+disposal scenario camion PD
Carcinogens	DALY	4,80E-05	2,06E-04	2,40E-05	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-1,82E-04
Respiratory organics	DALY	2,33E-04	8,48E-06	2,60E-04	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-3,56E-05
Respiratory inorganics	DALY	5,49E-01	4,15E-03	5,46E-01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-9,33E-04
Climate change	DALY	2,46E-02	6,72E-04	2,41E-02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-1,93E-04
Radiation	DALY	9,75E-11	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	9,75E-11
Ozone layer	DALY	3,63E-07	1,94E-07	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1,69E-07
Ecotoxicity	PAF*m2yr	8,25E+03	8,19E+03	6,77E+01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-8,87E+00
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	2,93E+04	1,16E+02	2,92E+04	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-1,70E+01
Land use	PDF*m2yr	3,21E+02	1,65E+02	1,37E+02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1,94E+01
Minerals	MJ surplus	2,41E+03	2,60E+03	1,57E+01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-2,03E+02
Fossil fuels	MJ surplus	1,13E+05	3,57E+03	1,01E+05	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1,25E+04	-3,47E+03
Costi individuali	euro	4,26E+05	1,57E+04	x	2,76E+04	2,45E+04	8,08E+00	3,12E+05	4,67E+04	x	x	x	x	x	4,86E+01
Incidenti	DALY	8,63E-04	x	x	x	x	x	x	x	x	x	8,41E-04	2,17E-05	x	x
Costi sociali	euro	-1,22E+02	x	x	x	x	x	x	x	1,30E+01	7,32E+00	x	x	x	-1,43E+02
Disagio	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Parte II – Capitolo 3

Figura 32 - Caratterizzazione LCA Traffico Feriale Camion PD



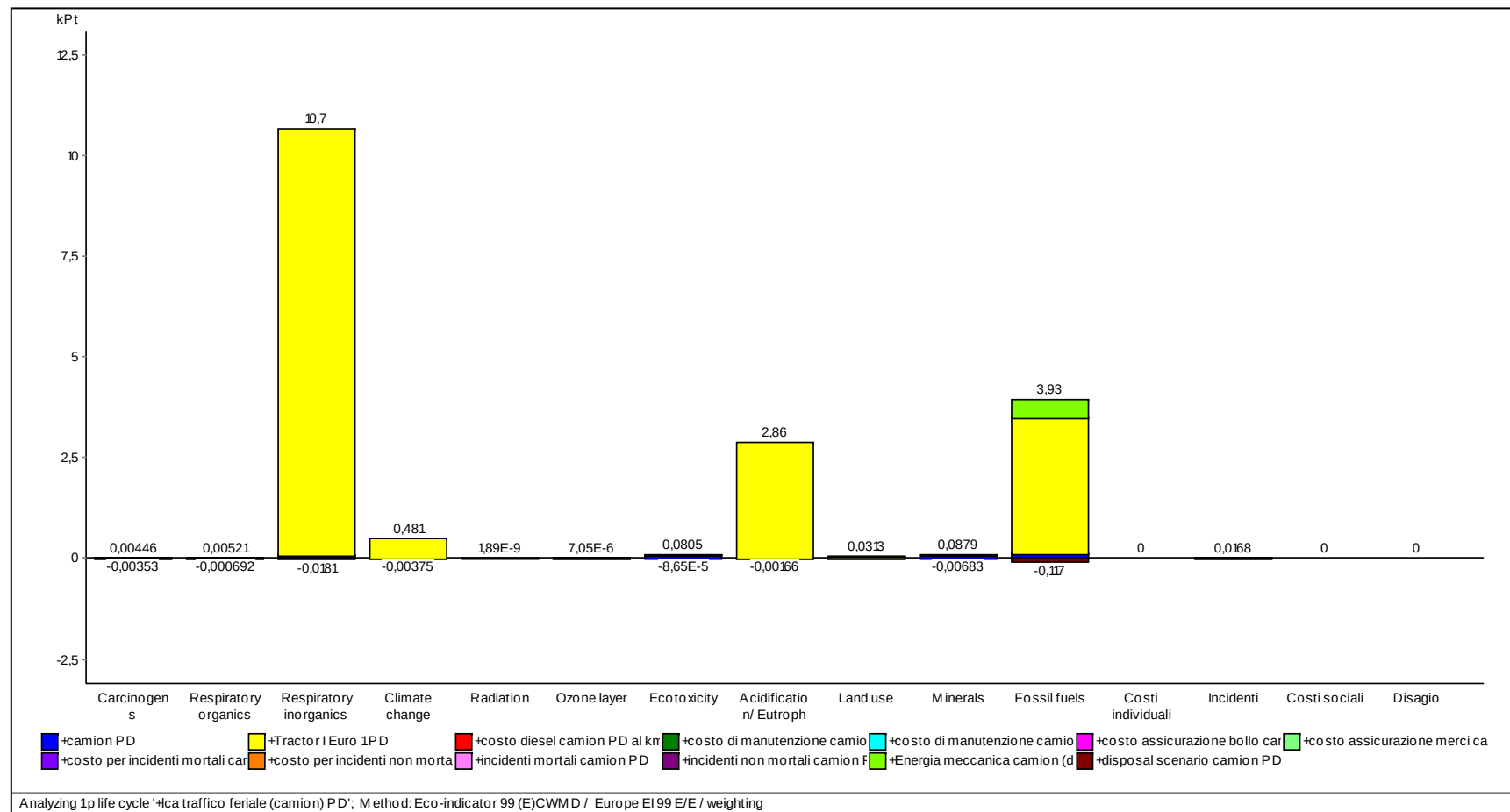
Parte II – Capitolo 3

Tabella 74 - Valutazione LCA Traffico Feriale Camion PD

SimaPro 5.0	LCIA Profile	Date:	28/03/2003												
Project: traffico Padova		Time:	13.12.06												
Method:	Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E														
Value:	Weighted indicator														
Per impact category:	Yes														
Impact category	Unit	Total	+camion PD	+Tractor I Euro 1 PD	+costo diesel camion PD al km	+costo di manutenzione camion ordinaria PD	+costo di manutenzione camion straordinaria PD	+costo assicurazione bollo camion PD	+costo assicurazione merci camion PD	+costo per incidenti mortali camion PD	+costo per incidenti non mortali camion PD	+incidenti mortali camion PD	+incidenti non mortali camion PD	+Energia meccanica camion (diesel) PD	+disposal scenario camion PD
Total	Pt	1,80E+04	4,12E+02	1,73E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,63E+01	4,22E-01	4,20E+02	-1,49E+02
Carcinogens	Pt	9,33E-01	3,99E+00	4,65E-01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-3,53E+00
Respiratory organics	Pt	4,52E+00	1,65E-01	5,04E+00	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-6,92E-01
Respiratory inorganics	Pt	1,07E+04	8,06E+01	1,06E+04	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-1,81E+01
Climate change	Pt	4,78E+02	1,31E+01	4,68E+02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-3,75E+00
Radiation	Pt	1,89E-06	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1,89E-06
Ozone layer	Pt	7,05E-03	3,77E-03	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	3,28E-03
Ecotoxicity	Pt	8,04E+01	7,98E+01	6,60E-01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-8,65E-02
Acidification/ Eutrophication	Pt	2,85E+03	1,13E+01	2,84E+03	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-1,66E+00
Land use	Pt	3,13E+01	1,61E+01	1,33E+01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1,89E+00
Minerals	Pt	8,11E+01	8,74E+01	5,28E-01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-6,83E+00
Fossil fuels	Pt	3,81E+03	1,20E+02	3,39E+03	x	x	x	x	x	x	x	x	x	4,20E+02	-1,17E+02
Costi individuali	Pt	0,00E+00	0,00E+00	x	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	x	x	x	x	x	0,00E+00
Incidenti	Pt	1,68E+01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1,63E+01	4,22E-01	x	x
Costi sociali	Pt	0,00E+00	x	x	x	x	x	x	x	0,00E+00	0,00E+00	x	x	x	0,00E+00
Disagio	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

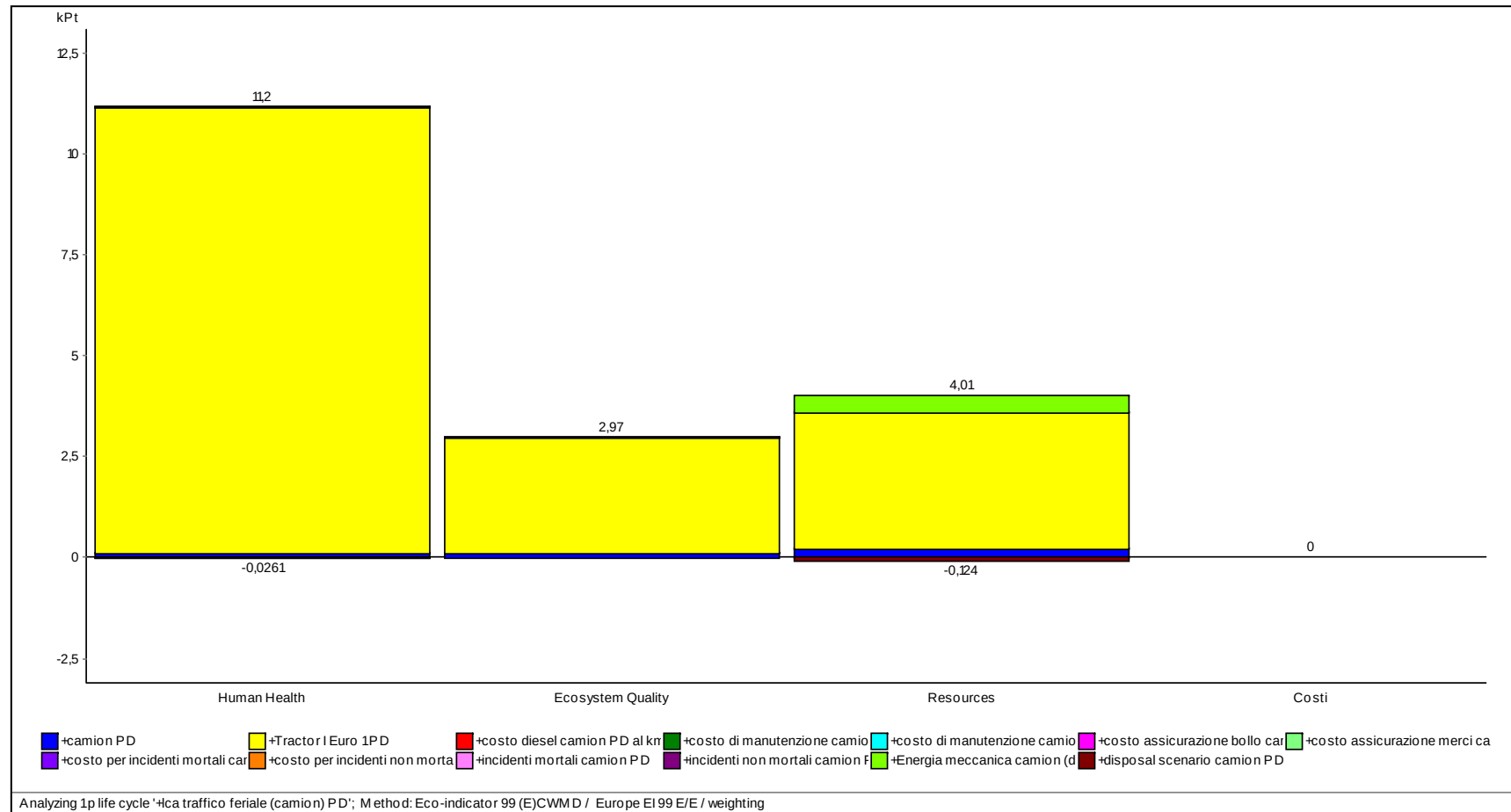
Parte II – Capitolo 3

Figura 33 - Valutazione LCA Traffico Feriale Camion PD



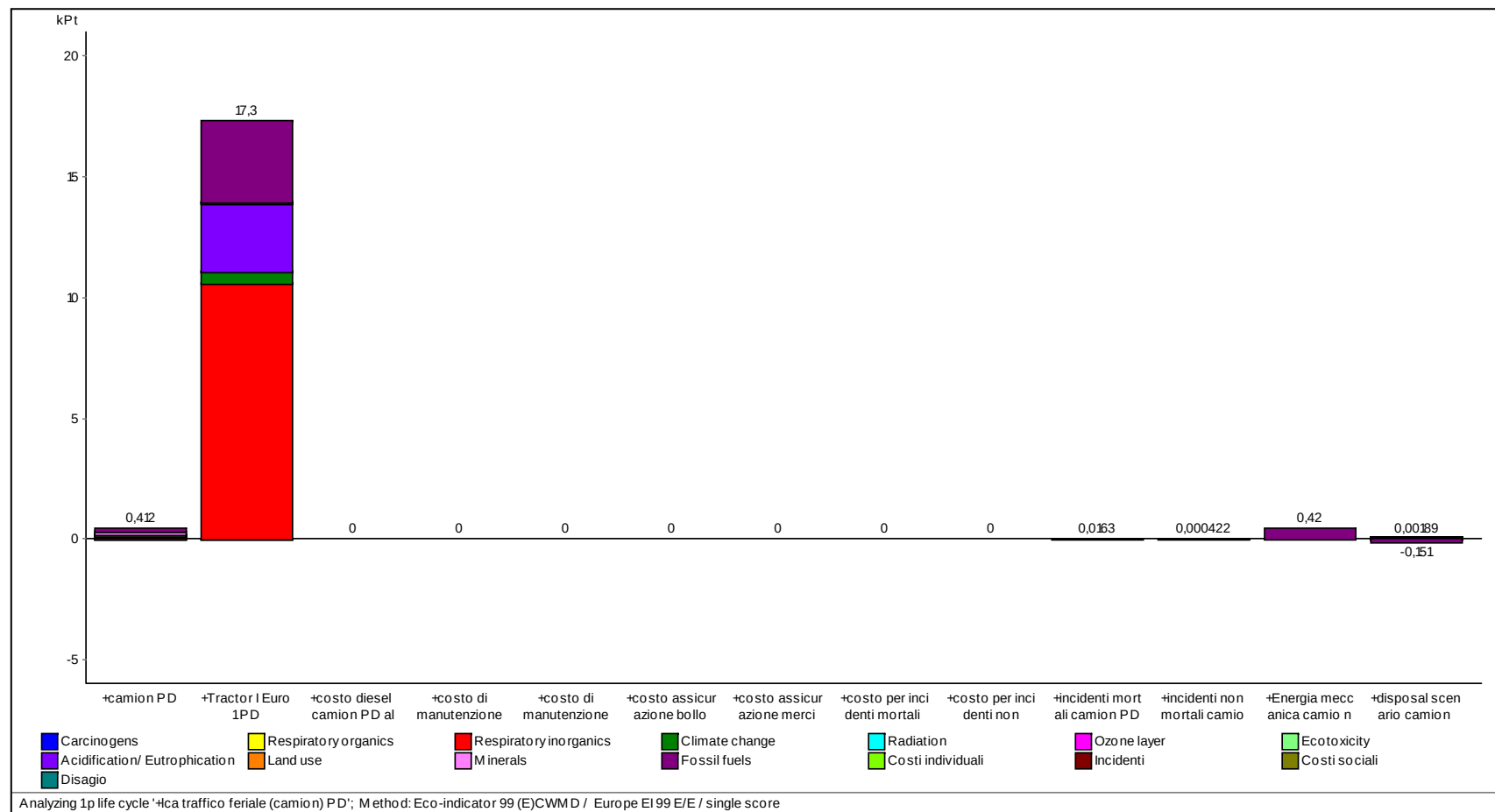
Parte II – Capitolo 3

Figura 34 - Valutazione LCA Traffico Feriale Camion PD, per categoria di Danno



Parte II – Capitolo 3

Figura 35 - Valutazione LCA Traffico Feriale Camion PD, in base alle Componenti



3.8 LCA del traffico feriale dei mezzi pubblici

3.8.1 Introduzione

Secondo i dati forniti dall'azienda ex-municipalizzata dei trasporti (APS Divisione Mobilità), il parco mezzi è costituito da circa 200 veicoli, tutti alimentati a Gecam. Ogni giorno vengono effettuate 2.752 corse su 21 linee e, nell'arco delle 12 ore di campagna rilevamenti (7 e 30 – 19 e 30), ne vengono effettuate 2133. I passeggeri complessivamente trasportati sono, secondo le rilevazioni della stessa società, più di 33 milioni. I dipendenti totali, considerando anche quadri e dirigenti, sono 506 di cui 431 conducenti di linea. Il rapporto autisti/autobus è di 2,1.

In questo paragrafo verrà descritto il procedimento utilizzato per la realizzazione dell'analisi del ciclo di vita del traffico riferibile ai soli mezzi pubblici in servizio urbano. Si procederà seguendo la struttura utilizzata dal codice al fine da dare una migliore leggibilità dei risultati. In particolare va segnalato il fatto che tutti i costi indicati, sono definiti come costi sociali in quanto APS, pur essendo formalmente una S.p.A., è tuttora sotto il controllo diretto del Comune e si avvale di risorse finanziarie fornite dall'amministrazione cittadina.

3.8.2 Assembly dell'autobus

3.8.2.1 Le caratteristiche generali

Per la realizzazione dell'*assembly*, sono stati utilizzati i dati, forniti da Breda Menarinibus, relativi ad un veicolo di circa 10,5 tonnellate di tara.

Si è ipotizzata una vita media del veicolo di 14 anni, con una percorrenza complessiva massima di 750.000 km. Il prezzo è fissato in 240.000 € ed è relativo ad un modello "Menarini M 240 LU diesel" di 12 metri di lunghezza e motore diesel. Nell'*assembly* esso è posto sotto il processo con nome costo produzione autobus menarini diesel PD ed è espresso come un costo sociale. In Tabella 75 è indicato l'*assembly* autobus Menarini (diesel) PD.

Tabella 75 – L'assembly Autobus Menarini (diesel) PD

SimaPro 5.0	Product stages	Date:	04/03/2003
Project: traffico Padova		Time:	00/01/1900
Assembly:			
Name	Comment		
+autobus Menarini (diesel) PD	M240 LU diesel, peso totale 11300 - 700 + 6.68 = 10606.68 kg I dati sono stati presi dall' autobus menarini a metano, considerando nulla l'assembly delle bombole e aggiungendo il peso del serbatoio		
Materials/Assemblies	Amount	Unit	Comment
autobus scocca portante	1	p	3000 kg
autobus tavolato pavimento	1	p	60 kg
autobus vetroresine rivest. int.	1	p	50 kg
autobus finestr.parabr.porte	1	p	250 kg
autobus pann. fiancate e tetto	1	p	60 kg
autobus vetroresine rivest. est.	1	p	30kg
autobus 22 sedili in vetroresine rivest. est.	1	p	150 kg
autobus motore	1	p	600 kg +10,5kg
autobus cambio + rinvio ang.	1	p	400kg + 2kg
autobus ponte posteriore	1	p	1000 kg
autobus leve,tiranti,barre	1	p	200kg
autobus 6 cerchioni ruote	1	p	300 kg
autobus 6 pneumatici	1	p	250 kg
autobus 8 bombole	0	p	700 kg
autobus serbatoio diesel	1	p	6,68 kg
autobus mancorrenti tubolari	1	p	60 kg
autobus 4 dischi freno	1	p	60 kg
autobus 4 pinze freno	1	p	80 kg
autobus compon. elettrica	1	p	150 kg
autobus compon. pneumatica	1	p	100 kg
autobus 6 serbatoi aria	1	p	100 kg
autobus 2 batterie piombo	1	p	90 kg
autobus pannelli insonorizzanti	1	p	110 kg
autobus component. varia	1	p	4200 kg
Processes	Amount	Unit	Comment
+costo produzione autobus Menarini diesel PD	1	p	

3.8.2.2 La caratterizzazione e la valutazione dell'assembly autobus Menarini (diesel) PD

Dai risultati della caratterizzazione (Tabella 76 e Figura 36) si può osservare⁸¹:

- Il danno nella categoria **Human Health** è pari a 0,0795 DALY, pari a 29 giorni. Il contributo maggiore è dato dalla categoria di impatto Respiratory Inorganics con 0,0671 DALY, il cui apporto più significativo è l'emissione di SO₂ con un danno di 0,0505 DALY per l'emissione 924 kg, principalmente dovuti alla produzione della componentistica elettrica e della scocca portante. È da sottolineare come oltre l'85% delle emissioni di SO₂ derivino dalla produzione di componentistica varia di cui non si possiede un dettaglio significativo.
- Il danno nella categoria **Ecosystem Quality** è pari a 14.600 PDF·m²·y. Il contributo maggiore è dato dalla categoria di impatto Ecotoxicity con 10.900 PDF·m²·y, il cui apporto più significativo è dovuto all'emissione di Zn nell'aria con 10.200 PDF·m²·y a seguito dell'emissione di 3.537,5 g. Il danno maggiore è dovuto ai processi di produzione del motore (1.700 PDF·m²·y), dei cerchioni (1.300 PDF·m²·y) e soprattutto per la produzione di componentistica varia (6.530 PDF·m²·y). Questi 3 processi apportano circa il 65% del danno totale nella categoria di danno Ecosystem Quality. Apporti significativi sono dati anche dalle emissioni in atmosfera di SO₂ (7% del danno totale) e di NO_x (3,5% del danno totale).
- Il danno nella categoria **Resources** è pari a 71.300 MJ Surplus. Del totale di danno, si ha un apporto del 58% dovuto alla categoria di impatto Fossil Fuels e del 42% dovuto alla categoria di impatto Minerals. Gli apporti maggiori sono dati dai materiali Copper (in ore) (17.600, pari al 25% del danno totale) e Coal

⁸¹ Per una definizione delle unità di misura adottate in fase di caratterizzazione e valutazione, cfr. § 1.4.5.

(12.300, pari al 17% del danno totale). Relativamente al *material Copper*, l'apporto maggiore deriva dai processi di produzione del rame, usato nella fabbricazione della componentistica (84%). Relativamente al *material Coal*, l'apporto maggiore deriva dell'acciaio, utilizzato nella fabbricazione della scocca portante (28%) e della componentistica (45%).

Dai risultati della valutazione (Tabella 77 e Figura 37) si osserva che:

- Il **danno totale** vale 5.360 Pt, dovuti principalmente alla categoria di impatto Fossil Fuels (26%), Respiratory Inorganics (24%), Ecotoxicity (20%) e Minerals (19%);
- Nella categoria Fossil Fuels il contributo maggiore è dato dal processo di produzione della scocca portante 12,5%;
- Nella categoria Respiratory Inorganics il contributo maggiore è dato dal processo di produzione della scocca portante 6,2%;
- Nella categoria Ecotoxicity il contributo maggiore è dato dal processo di produzione del motore (16%) e dei cerchioni (12,5%);
- Nella categoria Minerals il contributo maggiore è dato dal processo di produzione della componentistica elettrica (8,8%);
- In generale, a causa della mancanza di dettaglio, il processo di produzione della componentistica varia fornisce sempre i massimi contributi a seguito del fatto che al suo interno vengono considerati molti processi distinti.

Parte II – Capitolo 3

Tabella 76 - Caratterizzazione dell'assembly Autobus Menarini (diesel) PD

SimaPro 5.0	LCIA Profile	Date:	04/03/2003											
Project: traffico Padova		Time:	9.36.34											
Method:	Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E													
Value:	Impact indicator													
Per impact category:	Yes													
Impact category	Unit	Total	autobus scocca portante	autobus tavolato pavimento	autobus vetroresine rivest. int.	autobus finestr.par abr.porte	autobus pann. fiancate e tetto	autobus vetroresine rivest. est.	autobus 22 sedili in vetroresine rivest. est.	autobus motore	autobus cambio + rinvio ang.	autobus ponte posteriore	autobus leve,tiranti,barre	autobus 6 cerchioni ruote
Carcinogens	DALY	0.00387	0.000661	1.16E-6	1.05E-5	x	7.51E-5	6.29E-6	3.65E-6	7.21E-5	0.000142	0.000216	1.4E-5	5.79E-5
Respiratory organics	DALY	9.73E-5	1.1E-5	2.25E-7	1.27E-6	x	8.8E-7	7.59E-7	3.43E-6	9.07E-6	8.21E-7	3.55E-6	3.03E-7	6.96E-6
Respiratory inorganics	DALY	4,660E-01	0.00418	3.3E-5	0.000422	0.00033	0.000421	0.000253	0.000922	0.000898	0.00114	0.000952	0.000195	0.00062
Climate change	DALY	0.00849	0.000794	8.89E-6	9.76E-5	1.31E-5	0.000142	5.85E-5	0.000209	0.000283	0.000327	0.000219	4.49E-5	0.000212
Radiation	DALY	6.56E-9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ozone layer	DALY	5.42E-6	3.04E-6	5.17E-10	x	x	2.34E-7	x	2.64E-10	6.98E-8	5.11E-8	1.01E-6	3.15E-9	4.94E-8
Ecotoxicity	PAF*m2yr	1.09E5	1.28E3	7,146E-01	1,424E-01	x	3,542E+00	9,097E-02	6,694E-01	1.78E4	1,720E+02	4,080E+02	3,296E+00	1.37E4
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	1.7E3	1,500E+02	7,014E-02	6,299E-01	7,146E-01	4,007E-01	3,778E-01	1,376E+00	1,256E+00	3,300E+01	1,628E+00	3,382E-01	8,799E-01
Land use	PDF*m2yr	1.97E3	2,740E+02	4,170E+02	7.61E-6	x	x	4.57E-6	1,924E-01	2,128E+00	2,794E+00	2,965E+00	5,896E-01	1,544E+00
Minerals	MJ surplus	2.99E4	5,940E+02	2,438E-01	6,458E-02	x	1,110E+02	5,563E-01	1,771E-01	7,670E+02	3,950E+02	2,006E+00	4,597E-01	3,626E+00
Fossil fuels	MJ surplus	4.14E4	5.17E3	1,671E+00	5,450E+02	1,190E+02	4,920E+02	3,270E+02	1.05E3	1.5E3	1.4E3	1.51E3	3,050E+02	1.13E3
Costi individuali	euro	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Incidenti	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Costi sociali	euro	2.4E5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Disagio	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

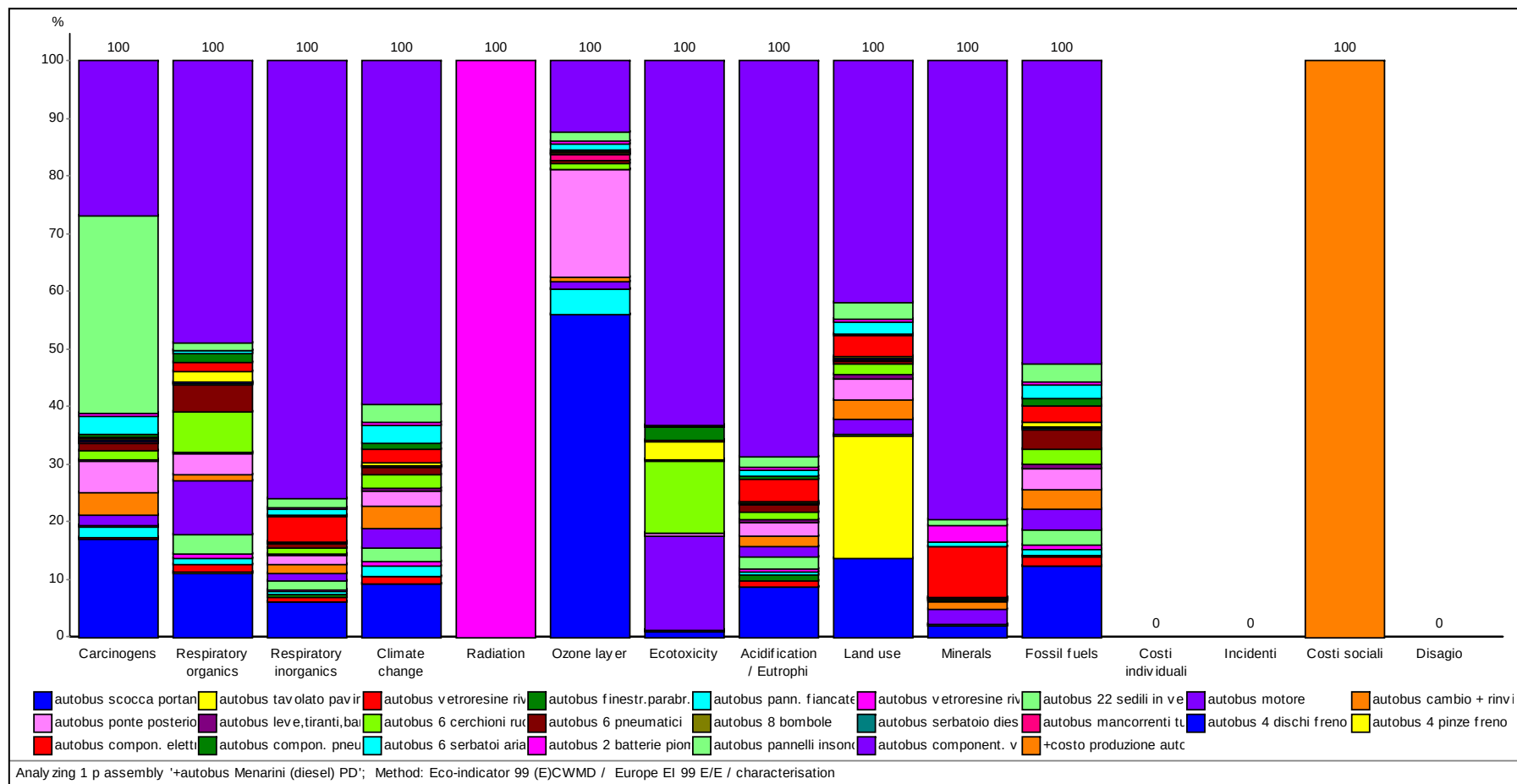
Parte II – Capitolo 3

Tabella 76 - Caratterizzazione dell'assembly Autobus Menarini (diesel) PD (continua)

Impact category	Unit	autobus 6 pneumatici	autobus 8 bombole	autobus serbatoio diesel	autobus mancorrenti tubolari	autobus 4 dischi freno	autobus 4 pinze freno	autobus compon. elettrica	autobus compon. pneumatica	autobus 6 serbatoi aria	autobus 2 batterie piombo	autobus pannelli insonorizzanti	autobus component. varia	+costo produzione autobus Menarini diesel PD
Carcinogens	DALY	4.66E-5	0,000E+00	8.65E-8	1.3E-5	5.12E-6	1.1E-5	1.29E-5	1.54E-5	0.000126	1.45E-5	0.00134	0.00103	x
Respiratory organics	DALY	4.53E-6	0,000E+00	7.19E-8	2.13E-7	9.88E-8	1.79E-6	1.53E-6	1.64E-6	3.89E-7	1.45E-7	1.04E-6	4.76E-5	x
Respiratory inorganics	DALY	0.000558	0,000E+00	2.96E-5	5.71E-5	6.38E-5	9.06E-5	0.00293	0.000189	0.000665	0.000273	0.000939	3.535E-01	x
Climate change	DALY	0.000101	0,000E+00	4.85E-6	1.31E-5	1.52E-5	4.4E-5	0.0002	7.39E-5	0.000267	5.51E-5	0.00026	0.00504	x
Radiation	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	6.56E-9	x	x	x
Ozone layer	DALY	2.39E-8	0,000E+00	x	6.07E-8	1.85E-9	1.3E-8	1.4E-8	1.37E-8	6.1E-8	1.84E-8	8.49E-8	6.65E-7	x
Ecotoxicity	PAF*m2yr	1,480E+02	0,000E+00	1,493E-01	1,003E+00	1,047E+00	3.63E3	5,035E-01	2.74E3	2,378E+00	8,799E-01	1,910E+02	6.89E4	x
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	9,188E-01	0,000E+00	6,014E-01	1,083E-01	1,271E-01	1,583E-01	2,792E+00	3,139E-01	7,132E-01	3,174E-01	1,297E+00	1.16E3	x
Land use	PDF*m2yr	4,194E-01	0,000E+00	1.02E-6	1,882E-01	2,278E-01	2,410E-01	2,918E+00	3,188E-01	3,900E+01	4,632E-01	2,379E+00	8,250E+02	x
Minerals	MJ surplus	3,800E+01	0,000E+00	1,799E-01	1,479E-01	1,688E-01	4,639E-01	2.63E3	4,222E-01	2,320E+02	9,040E+02	3,170E+02	2.38E4	x
Fossil fuels	MJ surplus	1.38E3	0,000E+00	2,173E+00	3,755E+00	1,000E+02	2,240E+02	1.21E3	5,290E+02	9,580E+02	2,360E+02	1.29E3	2.17E4	x
Costi individuali	euro	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Incidenti	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Costi sociali	euro	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2.4E5
Disagio	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Parte II – Capitolo 3

Figura 36 - Caratterizzazione dell'assembly Autobus Menarini (diesel) PD



Parte II – Capitolo 3

Tabella 77 - Valutazione dell'assembly Autobus Menarini (diesel) PD

SimaPro 5.0	LCIA Profile	Date:	04/03/2003											
Project: traffico Padova		Time:	9.37.12											
Method:	Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E													
Value:	Weighted indicator													
Per impact category:	Yes													
Impact category	Unit	Total	autobus scocca portante	autobus tavolato pavimento	autobus vetroresine rivest. int.	autobus finestr.parabr. porte	autobus pann. fiancate e tetto	autobus vetroresine rivest. est.	autobus 22 sedili in vetroresine rivest. est.	autobus motore	autobus cambio + rinvio ang.	autobus ponte posteriore	autobus leve,tiranti,barre	autobus 6 cerchioni ruote
Total	Pt	5.36E3	3,570E+02	1,793E+00	1,251E+00	5,028E-01	1,419E+00	7,507E-01	2,543E+00	2,820E+02	1,030E+02	3,919E+00	7,542E-01	1,970E+02
Carcinogens	Pt	3,126E+00	5,056E-01	1,563E-01	1,410E-01	x	7,361E-02	8,472E-02	4,917E-01	4,444E-02	1,354E-01	1,681E-01	1,896E-01	5,000E-02
Respiratory organics	Pt	1,035E-01	1,479E-01	0.00436	1,708E-01	x	1,188E-01	1,021E-01	4,618E-01	1,222E-01	1,104E-01	4,785E-01	0.00587	9,375E-02
Respiratory inorganics	Pt	1.3E3	3,376E+00	4,451E-01	3,465E-01	2,785E-01	3,458E-01	2,299E-01	7,146E-01	7,111E-01	9,181E-01	7,535E-01	1,792E-01	1,200E+01
Climate change	Pt	1,650E+02	6,278E-01	1,194E-01	1,035E-01	1,771E-01	1,361E-01	5,139E-02	1,708E-01	2,424E-01	2,743E-01	1,833E-01	6,056E-01	1,750E-01
Radiation	Pt	0.000127	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ozone layer	Pt	7,292E-02	0.059	1,000E-05	x	x	0.00453	x	5.12E-6	0.00136	0.000991	1,361E-01	6.11E-5	0.000959
Ecotoxicity	Pt	1.07E3	5,028E-01	1,208E-01	1,931E-01	x	5,764E-02	1,160E-01	1,111E-02	1,730E+02	8,889E-02	1,924E-01	5,389E-01	1,330E+02
Acidification/ Eutrophication	Pt	1,650E+02	5,875E-01	9,583E-02	7,847E-02	9,375E-02	6,347E-01	6,368E-01	1,403E-01	1,257E-01	1,403E-01	1,833E-01	5,458E-01	9,167E-02
Land use	Pt	1,920E+02	1,088E+00	1,672E+00	7.42E-7	x	x	4.45E-7	2,688E-01	2,097E-01	2,896E-01	2,924E-01	7,292E-02	1,694E-01
Minerals	Pt	1.01E3	2,000E+01	8,194E-02	3,118E-01	x	1,764E-01	1,868E-01	9,653E-02	1,047E+00	5,438E-01	8,611E-02	2,604E-01	1,479E-01
Fossil fuels	Pt	1.39E3	1,740E+02	6,736E-02	7,521E-01	4,000E+00	6,701E-01	1,100E+01	1,460E+00	2,086E+00	4,700E+01	2,089E+00	4,181E-01	3,800E+01
Costi individuali	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Incidenti	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Costi sociali	Pt	0,000E+00	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Disagio	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

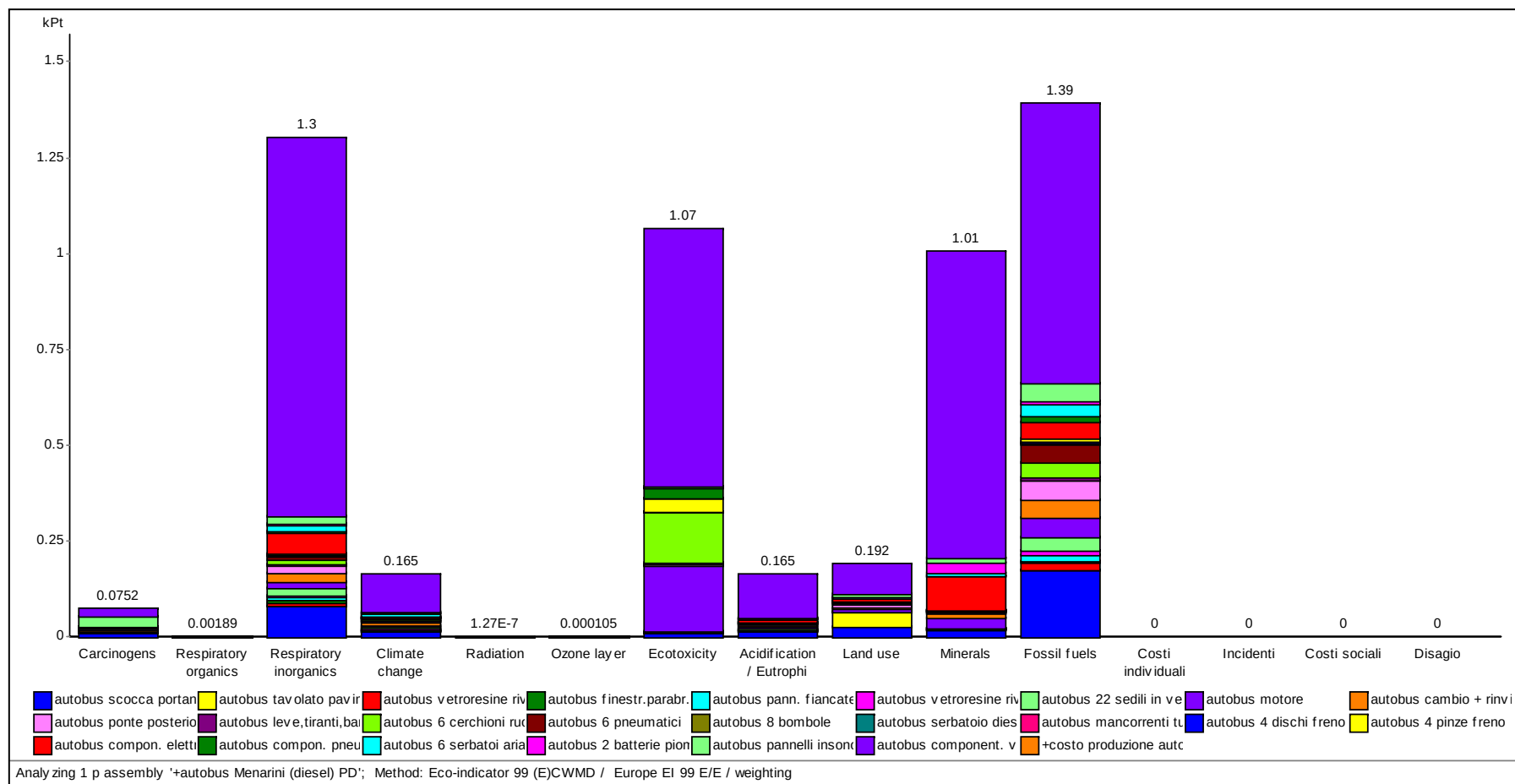
Parte II – Capitolo 3

Tabella 77 - Valutazione dell'assembly Autobus Menarini (diesel) PD (continua)

Impact category	Unit	autobus 6 pneumatici	autobus 8 bombole	autobus serbatoio diesel	autobus mancorrenti tubolari	autobus 4 dischi freno	autobus 4 pinze freno	autobus compon. elettrica	autobus compon. pneumatica	autobus 6 serbatoi aria	autobus 2 batterie piombo	autobus pannelli insonorizzanti	autobus component. varia	+costo produzione autobus Menarini diesel PD
Total	Pt	2,751E+00	0,000E+00	1,208E-01	2,542E-01	2,583E-01	4,700E+01	2,040E+02	2,130E+00	2,754E+00	1,959E+00	1,140E+02	3.5E3	0,000E+00
Carcinogens	Pt	6,278E-01	0,000E+00	0.00168	1,750E-01	6,903E-01	1,479E-01	1,743E-01	2,069E-01	1,146E-01	1,958E-01	1,048E+00	2,000E+01	x
Respiratory organics	Pt	6,104E-01	0,000E+00	0.00139	0.00414	0.00192	2,410E-01	2,063E-01	2,208E-01	0.00755	0.00281	1,396E-01	6,417E-01	x
Respiratory inorganics	Pt	4,222E-01	0,000E+00	3,993E-01	4,931E-02	5,833E-02	9,444E-02	2,340E+00	1,708E-01	5,063E-01	2,104E-01	7,514E-01	9,880E+02	x
Climate change	Pt	1,083E-01	0,000E+00	6,535E-01	1,771E-01	2,056E-01	5,924E-01	1,861E-01	7,153E-02	2,208E-01	4,653E-02	2,111E-01	4,048E+00	x
Radiation	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0.000127	x	x	x
Ozone layer	Pt	0.000464	0,000E+00	x	0.00118	3.58E-5	0.000252	0.000272	0.000266	0.00118	0.000357	0.00165	8,958E-02	x
Ecotoxicity	Pt	7,222E-02	0,000E+00	0.0021	1,653E-01	1,736E-02	1,461E+00	8,403E-02	1,088E+00	3,882E-01	1,472E-01	1,021E-01	6,720E+02	x
Acidification/ Eutrophication	Pt	9,583E-02	0,000E+00	5,861E-01	1,604E-01	1,778E-01	2,354E-01	2,875E-01	4,958E-01	9,236E-02	4,986E-01	1,257E-01	1,140E+02	x
Land use	Pt	4,306E-02	0,000E+00	9.92E-8	2,924E-01	3,306E-01	3,701E-01	3,083E-01	5,007E-01	1,306E-01	5,208E-02	2,514E-01	3,336E+00	x
Minerals	Pt	6,111E-02	0,000E+00	0.00872	6,833E-01	9,444E-02	2,764E-01	3,669E+00	2,514E-01	3,479E-01	1,253E+00	4,208E-01	7,990E+02	x
Fossil fuels	Pt	1,919E+00	0,000E+00	9,583E-02	1,285E-01	1,507E-01	3,278E-01	1,672E+00	7,139E-01	1,335E+00	3,576E-01	1,794E+00	7,300E+02	x
Costi individuali	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Incidenti	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Costi sociali	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0,000E+00
Disagio	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Parte II – Capitolo 3

Figura 37 - Valutazione dell'assembly Autobus Menarini (diesel) PD



3.8.3 Caratteristiche del traffico dei mezzi pubblici

3.8.3.1 La combustione e le emissioni

Si ipotizza che il parco veicoli APS abbia la stessa distribuzione di quello individuato dall'ACI per tutti gli autobus immatricolati in città. ACI individua una distribuzione di circa il 60% autobus convenzionali (Conventional nella terminologia COPERT III) e di circa il 40% di autobus che rispettano i limiti previsti dal regolamento 91/542/EEC Stage II (denominati 91/542 Stage II nella terminologia COPERT III). Poiché dai dati ricavati dal bilancio 2001 di APS Mobilità si deduce che nel corso del 2001 sono stati acquistati 16 veicoli Euro 3 e che altri 24 sono in preventivo per il 2002, il rapporto 60:40 Euro 0:Euro 2 è stato applicato a 166 veicoli (206–40), ottenendo la distribuzione descritta in tabella:

Tabella 78 - Distribuzione mezzi pubblici per limiti di emissione (Fonte: ACI)

Limiti di emissione	%	Autobus
Conventional	50,0%	103
Euro 2	30,6%	63
Euro 3	19,4%	40
Totale	100,0%	206

Tutti i veicoli sono alimentati a Gecam. Sono stati, quindi, creati i processi, denominati Bus (Gecam) Euro 0, Bus (Gecam) Euro 2 e Bus (Gecam) Euro 3, che descrivono l'utilizzo del Gecam, sfruttando i dati della Menarini per le emissioni ma introducendo i fattori di riduzione previsti da Cam Tecnologie per quanto riguarda l'utilizzo del Gecam.

E' importante, inoltre, sottolineare che, nonostante il progresso tecnologico abbia portato a progettare motori sempre più efficienti che, in linea teorica, consumano minor quantità di combustibile, i consumi in termini complessivi nelle diverse categorie di veicoli (Euro 0/1/2/3) sono rimasti sostanzialmente invariati a seguito della risposta del motore allo stile di guida del conducente. Pertanto nella caratterizzazione dei processi, è stato considerato lo stesso valore per i consumi di gasolio.

In Tabella 79 è presentato, a titolo di esempio, il processo Bus (Gecam) Euro 3.

Tabella 79 - Processo Bus (Gecam) Euro 3 PD

SimaPro 5.0		Processes	Date:	28/03/2003
Project: traffico Padova			Time:	12.20.00
Process				
Category type	Transport			
Comment	Riding by bus (combustion only) (irrespective of number of passengers). potenza: 205kW velocità: 20km/h energia/km: 205kWh/20km=10,25kWh/km M240 LU/LS-Euro3 BredaMenarinibus			
Resources				
water	0,106605	0	0	kg Dai dati Gecam risulta che l'H2O rappresenta il 10,3% del totale della miscela: $1.035 \text{ l} * 10.3\% = 0.106605 \text{ l}$ $0.106605 \text{ l} * 1 \text{ kg/l} = 0.106605 \text{ kg}$.
Materials/fuels				
Diesel I	0,755964	0	0	kg Poichè la nostra unità funzionale è rappresentata dai km che vengono percorsi con 1 l di gasolio o con 1.035 l di Gecam e poichè in un l di Gecam 88% è gasolio, avremo: $1.035 \text{ l} * 88\% = 0.910800 \text{ l}$ di Gecam consumati per percorrere la nostra "unità funzionale". La densità del gasolio è $d = 0.83 \text{ kg/dmc}$ (M240 LU/LS-Euro3 BredaMenarinibus). In termini di kg: $0.910800 \text{ l} * 0.83 \text{ kg/l} = 0.755964 \text{ kg}$.
alcohol sulphates	0,0146039	0	0	kg Dai dati Gecam risulta che l'additivo è un tensioattivo. E' stato considerato l'Alcohol Sulphates. Esso rappresenta il 1.7% $1.035 \text{ l} * 1.7\% = 0.017595 \text{ l}$ In prima approssimazione la densità dell'Alcohol Sulphates è stata equiparata a quella del gasolio (0.83 kg/l), quindi: $0.017595 \text{ l} * 0.83 \text{ kg/l} = 0.0146039 \text{ kg}$.
Emissions to air				
CO	7,7297	0	0	g I dati indicano emissioni di 0.53 g/kWh pari a $0.53 \text{ g/kWh} * 10.25 \text{ kWh/km} = 5.4325 \text{ g/km}$ Con il Gecam si ha una riduzione nell'emissione di CO del 28%, quindi: $5.4325 \text{ g/km} * 28\% = 1.5211 \text{ g/km}$ Le emissioni totali saranno quindi: $5.4325 \text{ g/km} - 1.5211 \text{ g/km} = 3.9114 \text{ g/km}$ Poichè la nostra unità funzionale equivale a 1.976191 km, le emissioni di CO per unità funzionale sono: $1.976191 \text{ km} * 3.9114 \text{ g/km} = 7,7297 \text{ g}$
CO2	2,6148	0	0	kg $m\text{CO}_2 = m\text{comb} / (12 + m/n)$ dove $m\text{comb} = 0.42 \text{ kg/km}$ (ovvero il consumo di combustibile al km), $m = 35.2$, $n = 17.9$ sostituendo si ottiene: $m\text{CO}_2 = 1.323168 \text{ kg}$ Le emissioni totali saranno quindi: 1.323168 kg/km Poichè la nostra unità funzionale equivale a 1.976191 km, le emissioni di CO per unità funzionale sono: $1.976191 \text{ km} * 1.323168 \text{ kg/km} = 2,6148 \text{ kg}$
benzene	0,000133	0	0	g $0.776050 \text{ kg diesel} / 0.28 \text{ kg diesel} * 0.000048 \text{ g} = 0.000133 \text{ g}$ Il dato è ottenuto facendo una proporzione con i valori della banca dati i IDEMAT del bus diesel. Rivedere a cosa si riferiscono i valori
CxHy	3,03839	0	0	g I dati indicano emissioni di 0.15 g/kWh pari a $0.15 \text{ g/kWh} * 10.25 \text{ kWh/km} = 1.5375 \text{ g/km}$ Poichè la nostra unità funzionale equivale a 1.976191 km, le emissioni di CxHy per unità funzionale sono: $1.976191 \text{ km} * 1.5375 \text{ g/km} = 3,03839 \text{ g}$
NOx	78,6842	0	0	g I dati indicano emissioni di 4.57 g/kWh pari a $4.57 \text{ g/kWh} * 10.25 \text{ kWh/km} = 46.8425 \text{ g/km}$ Con il Gecam si ha una riduzione nell'emissione di NOx una

dust (PM10) mobile	0,3707	0	0	g	Del PM totale, si attribuisce il 50% al PM10 e l'altro 50% al PM2.5. I dati indicano emissioni totale (PM10 + PM2.5) di 0.061 g/kWh pari a $0.061 \text{ g/kWh} * 10.25 \text{ kWh/km} = 0,62525 \text{ g/km}$. Attribuiti al PM10 sono: $0,62525 \text{ g/km} * 50\% = 0,312625 \text{ g/km}$ Con il Gecam si ha una riduzione nell'emissione di PM10 del 40%, quindi: $0,312625 \text{ g/km} * 40\% = 0,12505 \text{ g/km}$ Le emissioni totali saranno quindi: $0,312625 \text{ g/km} - 0,12505 \text{ g/km} = 0,187575 \text{ g/km}$ Poichè la nostra unità funzionale equivale a 1.976191 km, le emissioni di NOx per unità funzionale sono: $1.976191 \text{ km} * 0,187575 \text{ g/km} = 0,3707 \text{ g}$
dust (PM2.5)	0,3707	0	0	g	Del PM totale, si attribuisce il 50% al PM10 e l'altro 50% al PM2.5. I dati indicano emissioni totale (PM10 + PM2.5) di 0.061 g/kWh pari a $0.061 \text{ g/kWh} * 10.25 \text{ kWh/km} = 0,62525 \text{ g/km}$. Attribuiti al PM2.5 sono: $0,62525 \text{ g/km} * 50\% = 0,312625 \text{ g/km}$ Con il Gecam si ha una riduzione nell'emissione di PM2.5 del 40%, quindi: $0,312625 \text{ g/km} * 40\% = 0,12505 \text{ g/km}$ Le emissioni totali saranno quindi: $0,312625 \text{ g/km} - 0,12505 \text{ g/km} = 0,187575 \text{ g/km}$ Poichè la nostra unità funzionale equivale a 1.976191 km, le emissioni di NOx per unità funzionale sono: $1.976191 \text{ km} * 0,187575 \text{ g/km} = 0,3707 \text{ g}$
Non material emission					

0,862 €/l, analogamente al gasolio ed il costo chilometrico utilizzato nel codice è, pertanto, 0,44 €/km.

Il costo è attribuito, nel calcolo, ai chilometri complessivamente percorsi.

3.8.3.3 I costi di gestione

Al fine di valutare i diversi costi sostenuti da APS, sono stati creati alcuni processi atti alla quantificazione delle spese. Sono stati presi in considerazione la manutenzione, la tassa di circolazione (c.d. bollo), l'assicurazione sia per il mezzo che per i passeggeri ed i costi per il personale.

- **Costo di manutenzione:** è il processo per la valutazione dei costi sostenuti dalla società dei trasporti per la manutenzione ordinaria dei veicoli. Il valore è tratto dalla informativa fornita dalla casa costruttrice. In essa il costo di manutenzione è indicato come compreso tra 0,13 e 0,16 €/km. Si è pertanto preso il valore medio (0,145 €/km).

Il costo è attribuito, nel calcolo, ai chilometri complessivamente percorsi;

- **Costo assicurazione e bollo:** è il processo per la valutazione dei costi relativi al premio assicurativo e alla tassa di circolazione (bollo). Entrambi i valori vengono valutati relativamente ad un giorno.

Per l'assicurazione, che comprende la responsabilità civile, il furto e incendio ed il trasporto di un passeggero, si ha un costo medio annuo, per un autobus di 12 m, di 60,38 € a passeggero. Ipotizziamo che un autobus abbia in media 72 posti, pari la media ponderata delle capacità massime dei 3 tipi di autobus attualmente in circolazione nella città, l'assicurazione annua è pari a: $60,38 \text{ €} \cdot 72 = 4.347,36 \text{ €}$. Pertanto l'assicurazione al giorno per un autobus con 72 posti a sedere è pari a: $4.347,36 \text{ €} / 365 = 11,91 \text{ €}$.

Per la tassa di circolazione, si è fatto riferimento ai dati ACI⁸³ per un veicolo di caratteristiche analoghe a quello individuato come modello. La potenza dichiarata dalla casa costruttrice è di 205 kW, pertanto l'importo del bollo è pari a 667,00 €, ovvero 1,83 € al giorno.

Questi valori vengono attribuiti, nel calcolo, al numero di autobus del parco veicoli di APS Mobilità;

- **Costo del personale:** è il processo che valuta i costi sostenuti dall'azienda per i propri dipendenti. È costituito dallo stipendio medio, calcolato sulla base del numero di dipendenti e del valore del bilancio 2001 posto sotto la voce "Salari e stipendi", cui sono stati sommati gli oneri societari cui l'azienda è soggetta (TFR, oneri contributivi). Non si è fatta distinzione tra dirigenti, impiegati e conducenti. La voce è un costo sociale in

- **Incidenti mortali e non mortali autobus:** sulla base delle considerazioni sopra esposte si ha che, statisticamente, ogni autobus è causa di $3,282 \times 10^{-3}$ feriti (pari a 7 feriti / 2133 autobus circolanti). Questo valore deve essere rapportato all'intera vita del veicolo, supposta di 14 anni. Pertanto durante l'intero periodo di utilizzo, il mezzo è responsabile di $4,6 \times 10^{-2}$ feriti.
Questo valore è attribuito, nel calcolo, ai cicli di vita di autobus complessivamente considerati;
- **Costo per incidenti mortali:** è il processo per la valutazione dei costi sociali connessi ai decessi occorsi a seguito di incidente stradale nel quale è stato coinvolto mezzo pubblico in servizio urbano⁸⁴. In Tabella 81 viene esplicitato il procedimento di calcolo utilizzato per la determinazione del parametro di costo. Il valore è attribuito, nel calcolo, ai cicli di vita di autobus complessivamente considerati.

Tabella 81 - Costo sociale per incidenti mortali

Fattore di ponderazione per incidenti automobilistici (DALY)	44,2857
Autobus circolanti nella giornata tipo	2.133
Stipendio medio annuo (€)	15.493,71
Morti/anno a seguito di incidenti stradali con auto	0
Anni di vita di un'autovettura	14
Costo sociale (€)	$(44,2857 \text{ DALY} / 2.133 \text{ autobus}) \cdot 15.493,71 \text{ €} \cdot 0 \text{ morti} \cdot 14 \text{ anni} = 0 \text{ €}$

- **Costo per incidenti non mortali:** è il processo per la valutazione dei costi sociali connessi alle persone ferite a seguito di incidente nel quale è stato coinvolto un

⁸⁴ Cfr. § 3.4.3.4 (Costo per incidenti mortali automobili).

mezzo pubblico in servizio urbano⁸⁵. In è esplicitato il procedimento di calcolo utilizzato per la determinazione del parametro di costo.

Il valore è attribuito, nel calcolo, ai cicli di vita di mezzi pubblici complessivamente considerati.

Tabella 82 - Costo sociale per incidenti non mortali

parametro

Tabella 83 - Calcolo del numero di passeggeri nei giorni feriali

Ricavi dalle vendite e dalle prestazioni	€ 13.480.744,00
Costo biglietto (€)	€ 0,85
Passeggeri complessivi	15.859.699
Coefficiente per i giorni feriali	275
Passeggeri nei giorni feriali	57.672

Si ipotizza che ogni autobus trasporti la media ponderata delle capacità massime dei 3 tipi di autobus attualmente in circolazione nella città, per complessivi 72 passeggeri. Si ipotizza, inoltre, che nelle ore di punta viaggi al 90% del proprio carico ammissibile (65 passeggeri). Nelle ore di morbida il coefficiente di carico è di 13,3 passeggeri per corsa. Complessivamente, tra le 7 e 30 e le 19, il servizio effettua 2.133 corse, di cui 566 nelle ore di punta (tra le 7 e 30 e le 9 e tra le 17 e 30 e le 19) e 1.567 nelle ore di morbida (2.133 – 566 corse). In Tabella 84 è esplicitata la modalità di calcolo dei passeggeri nelle ore di punta, nelle ore di morbida ed il costo complessivo sostenuto.

Tabella 84 - Costi e ricavi dovuti al trasporto passeggeri

Passeggeri nei giorni feriali	57.672
Coefficiente di carico - ore di punta (passeggeri)	65
Corse - ore di punta	566
Passeggeri trasportati - ore di punta	36.790
Corse - ore di morbida	1.567
Coefficiente di carico - ore di morbida (passeggeri)	13,3
Passeggeri trasportati - ore di morbida	20.882
Costo (Ricavo) passeggeri - ore di punta	€ 31.271,50
Costo (Ricavo) passeggeri - ore di morbida	€ 17.749,70

I valori individuati in Tabella 84 sono considerati, nel calcolo, come costo individuale in quanto rappresentano l'esborso degli utenti del servizio pubblico e come costo sociale, ed in questo caso con segno negativo, in quanto rappresentano

una fonte di guadagno per la società dei trasporti e pertanto un guadagno per la collettività.

3.8.3.6 L'energia meccanica prodotta

Il veicolo assunto come modello ha un rendimento del 12,60% ed un consumo di 0,42 kg di combustibile al km. Il potere calorico del gasolio è posto pari a 45,4 MJ/kg. In Tabella 85 è esplicitato il calcolo dell'energia meccanica guadagnata da ogni mezzo del sistema considerato per ogni km percorso⁸⁶.

Questo valore, posto negativo, è attribuito, nel calcolo, ai chilometri complessivamente percorsi da tutti i mezzi pubblici circolanti in servizio urbano durante la giornata tipo.

Tabella 85 - Energia meccanica prodotta dalla combustione

Rendimento considerato (%)	12,6
Potere calorico del Gecam (MJ/kg)	45,4
Consumo (kg/km)	0,42
Percorrenza (km/kg)	2,38
Energia meccanica (MJ/km)	$12,6\% \cdot 45,40 \text{ MJ/kg} \cdot 0,42 \text{ kg/km} = 2,402568$

3.8.3.7 Il parco veicolare e le percorrenze

Secondo i dati forniti dal APS Mobilità, nell'arco di un giorno feriale vengono effettuate 2.752 corse. Poiché le rilevazioni effettuate per gli altri veicoli interessano 12 ore (dalle 7 e 30 alle 19 e 30), sono state prese in considerazione esclusivamente le corse previste nello stesso lasso di tempo ($n_{\text{corse}} = 2.133$). Questo valore rappresenta, ai fini del nostro studio, il numero di mezzi pubblici circolanti nell'area oggetto di studio.

Si ipotizza che ogni corsa abbia una lunghezza di 2,85 km (pari al diametro del cerchio equivalente all'area oggetto di studio), pertanto ogni autobus percorre

⁸⁶ Per una breve descrizione del processo legato all'energia meccanica prodotta, cfr. § 3.4.3.5.

giornalmente 29,51 km. Si ipotizza, inoltre, che ogni mezzo abbia una vita di 14 anni nei quali percorre complessivamente 750.000 km; è, pertanto, possibile calcolare il numero di cicli di vita necessari a modellare complessivamente i mezzi pubblici circolanti in un giorno feriale nell'area oggetto di studio (Tabella 86).

Tabella 86 - LCA Autobus complessivi

Area oggetto di studio (km ²)	6,380
Raggio del cerchio equivalente (km)	1,425
Diametro del cerchio equivalente (km)	2,850
Corse giornaliere (7,30 - 19,30)	2.133
Autobus del parco mezzi APS Mobilità	206
Km totali di vita di un autobus	750.000
Km totali percorsi al giorno (km)	$2133 \text{ corse} \cdot 2,850 \text{ km} = 6.079,05$
Km totali percorsi da ogni autobus al giorno (km)	$6.079,05 / 206 = 29,51$
LCA complessivi	$(206 \text{ autobus} / 750.000 \text{ km}) \cdot 29,51 \text{ km} = 8,105\text{e-}03$

3.8.4 Caratterizzazione e Valutazione di LCA Traffico Feriale Autobus

Di seguito vengono presentati il Product Stage relativo al ciclo di vita che modella il traffico dei veicoli commerciali pesanti nell'area oggetto di studio (Tabella 87), la caratterizzazione (Tabella 88) e il calcolo complessivo dei danni generati (Tabella 89)⁸⁷.

3.8.4.1 La caratterizzazione di LCA Traffico Feriale Autobus

Dall'analisi della caratterizzazione (Tabella 88 e Figura 38) è possibile trarre alcune considerazioni:

⁸⁷ Per una definizione delle unità di misura adottate in fase di caratterizzazione e valutazione, cfr. § 1.4.5.

- Il **costo individuale totale**, inteso come costo complessivo sostenuto da tutti i soggetti privati che utilizzano i mezzi di trasporto considerati nell'arco della giornata, vale 49.000 €, rappresentato dal costo sostenuto dai passeggeri per l'acquisto dei titoli di viaggio nell'arco di una giornata;
- Il **costo sociale** è di 10.100 €. Su di esso incidono in misura paragonabile i costi per i dipendenti (27% pari a 2.800 €), solo parzialmente recuperati dai ricavi dalla vendita dei biglietti, i costi per le tasse automobilistiche e le assicurazioni obbligatorie (26,7%, pari a 2.690 €), il costo per l'acquisto dei mezzi (19,3% pari a 1.950 €) e il costo per l'acquisto del carburante (17,7% pari a 1.780 €);
- Il danno dovuto agli **incidenti** vale $1,33 \times 10^{-5}$ DALY che corrisponde a 7 minuti di vita persi dalle persone che in un giorno feriale usufruiscono dei mezzi di trasporto pubblico per accedere all'area cordonale di Padova. Il danno è esclusivamente imputabile agli incidenti non mortali in quanto non si sono verificati, nel 2000, decessi a seguito di incidenti nei quali erano implicati veicoli di trasporto pubblico;
- Nella categoria di danno **Human Health** (il cui danno totale, pari a 0,0548 DALY, è influenzato per meno del 0.2‰ dai danni a seguito di incidenti) il danno maggiore (0,0529 DALY) è dovuto alla categoria di impatto Respiratory Inorganics. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto ai veicoli con motore Euro 0 (0,0375 DALY) a causa della emissione di 373 kg di NO_x prodotto dai processi di combustione del GECAM. Un contributo notevole è dato anche dai veicoli con motore Euro 2 (0,0102 DALY) e Euro 3 (0,00464 DALY). Questo dimostra quanto l'utilizzo di veicoli con motori soggetti a normative sulle emissioni più restrittive comporti notevoli benefici nei confronti della salute umana;

- Nella categoria di danno **Ecosystem Quality** (3.180 PDF·m²·y) il danno maggiore (3.010 PDF·m²·y) è dovuto alla categoria di impatto Acidification/Eutrophication. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto ai processi di combustione dei veicoli Euro 0 (2.130 PDF·m²·y) a causa della emissione di 373 kg di NO_x prodotto dai processi di combustione del GECAM. Un contributo notevole è dato anche dai veicoli con motore Euro 2 (588 PDF·m²·y) e Euro 3 (278 PDF·m²·y);
- Nella categoria di danno **Resources** (8.210 MJ Surplus) il danno maggiore (7.980 MJ surplus) è dovuto alla categoria di impatto Fossil Fuels. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto ai veicoli con motore Euro 0 (4.620 MJ surplus) a causa del consumo di 1.210 kg di crude oil IDEMAT, contenuto nel combustibile GECAM.

3.8.4.2 La valutazione di LCA Traffico Feriale Autobus

Dall'analisi della valutazione (Tabella 89 e Figura 39, Figura 40 e Figura 41) è possibile trarre alcune considerazioni:

- Il **danno totale** vale 1.650 Pt di cui il 67,48% è dovuto ai veicoli con motore Euro 0, il 21,88% ai veicoli con motore Euro 2 e 11,22% ai veicoli con motore Euro 3;
- Il danno è dovuto principalmente alla categoria di danno Human Health (64,49%) e alla categoria di impatto Respiratory Inorganics (62,17%);
- Nella categoria di danno Resources (276 Pt), si ha anche un guadagno ambientale di -50,7 Pt dovuto all'energia meccanica prodotta (-14,76%) e al fine vita (rottamazione) (-3,64%).

Tabella 87 – LCA Traffico Feriale Autobus PD

SimaPro 5.0		Product stages		Date:	28/03/2003
Project: traffico Padova				Time:	14.58.54
Life cycle:					
Name	Comment				
+lca traffico feriale (autobus) PD	Ipotesi: nr autobus circolanti dalle 7,30 alle 19,30 è pari al nr di corse effettuate nello stesso lasso di tempo: 2133 area oggetto di studio: 6,38 kmq diametro del cerchio equivalente: 2,850 km numero di autobus del parco mezzi APS Mobilità: 206 km totali percorsi dagli autobus in una giornata: 2133 * 2.85 km = 6079,05 km percorsi da un autobus in una giornata: 6079,05 / 206 = 29.51 Cicli di vita di autobus totali: (206 auto / 750.000 km) * 29,51 km = 8,105e-03				
Assembly	Amount	Unit	Comment		
+autobus Menarini (diesel) PD	0,008105	p	206 / 750.000 km * 29.51 km= 0.008105 autobus		
Processes	Amount	Unit	Comment		
+Bus (Gecam) Euro 0 PD	3069,04	km	104 autobus * 29.51 km = 3039,53 km		
+Bus (Gecam) Euro 2 PD	1829,62	km	62 autobus * 29.51 km = 1829,62 km		
+Bus (Gecam) Euro 3 PD	1180,4	km	40 autobus * 29.51 km = 1180,4 km		
+costo Gecam autobus PD	6079,05	km	206 * 29.51 km = 6079.05 km		
+costo di manutenzione autobus PD	6079,05	km	206 * 29.51 km = 6079.05 km		
+costo assicurazione bollo autobus 12mt PD	206	p	206 autobus		
+costo totale autobus utenti PD	1	p	costo del biglietto per il numero totale di percorsi degli autobus durante 12 ore		
+ricavo totale autobus utenti PD	1	p	ricavo dal biglietto per il numero totale di percorsi degli autobus durante 12 ore		
+costo personale autobus APS PD	506	p	506 dipendenti (di cui 431 autisti o controllori) (fonte: Bilancio 2001 APS Mobilità)		
+costo per incidenti mortali autobus PD	0,008105	p	(206 auto / 750.000 km) * 29,51 km = 8,105e-03		
+costo per incidenti non mortali autobus PD	0,008105	p	(206 auto / 750.000 km) * 29,51 km = 8,105e-03		
+incidenti mortali autobus PD	0,008105	p	(206 auto / 750.000 km) * 29,51 km = 8,105e-03		
+incidenti non mortali autobus PD	0,008105	p	(206 auto / 750.000 km) * 29,51 km = 8,105e-03		
+Energia meccanica autobus (diesel) PD	6079,05	km	206 * 29.51 km = 6079.05 km		
Waste/Disposal scenario	Comment				
+disposal scenario autobus PD					

Parte II – Capitolo 3

Tabella 88- Caratterizzazione LCA Traffico Feriale Autobus PD

SimaPro 5.0	LCIA Profile	Date:	28/03/2003	Time:	12.57.12				
Project: traffico Padova									
Method:	Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E								
Value:	Impact indicator								
Per impact category:	Yes								
Impact category	Unit	Total	+autobus Menarini (diesel) PD	+Bus (Gecam) Euro 0 PD	+Bus (Gecam) Euro 2 PD	+Bus (Gecam) Euro 3 PD	+costo Gecam autobus PD	+costo di manutenzione autobus PD	+costo assicurazione bollo autobus 12mt PD
Carcinogens	DALY	-5,59E-06	3,14E-05	1,30E-06	7,73E-07	4,99E-07	x	x	x
Respiratory organics	DALY	6,30E-05	7,88E-07	5,03E-05	1,05E-05	4,32E-06	x	x	x
Respiratory inorganics	DALY	5,29E-02	5,43E-04	3,75E-02	1,02E-02	4,64E-03	x	x	x
Climate change	DALY	1,91E-03	6,88E-05	9,35E-04	5,57E-04	3,60E-04	x	x	x
Radiation	DALY	6,02E-11	5,31E-11	x	x	x	x	x	x
Ozone layer	DALY	5,69E-08	4,39E-08	x	x	x	x	x	x
Ecotoxicity	PAF*m2yr	8,85E+02	8,86E+02	3,70E+00	2,21E+00	1,42E+00	x	x	x
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	3,01E+03	1,38E+01	2,13E+03	5,88E+02	2,78E+02	x	x	x
Land use	PDF*m2yr	8,04E+01	1,60E+01	3,18E+01	1,90E+01	1,22E+01	x	x	x
Minerals	MJ surplus	2,30E+02	2,43E+02	1,04E+00	6,21E-01	4,01E-01	x	x	x
Fossil fuels	MJ surplus	7,98E+03	3,36E+02	4,62E+03	2,75E+03	1,78E+03	x	x	x
Costi individuali	euro	4,90E+04	x	x	x	x	x	x	x
Incidenti	DALY	6,01E-06	x	x	x	x	x	x	x
Costi sociali	euro	1,01E+04	1,95E+03	x	x	x	1,78E+03	881	2690
Disagio	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x

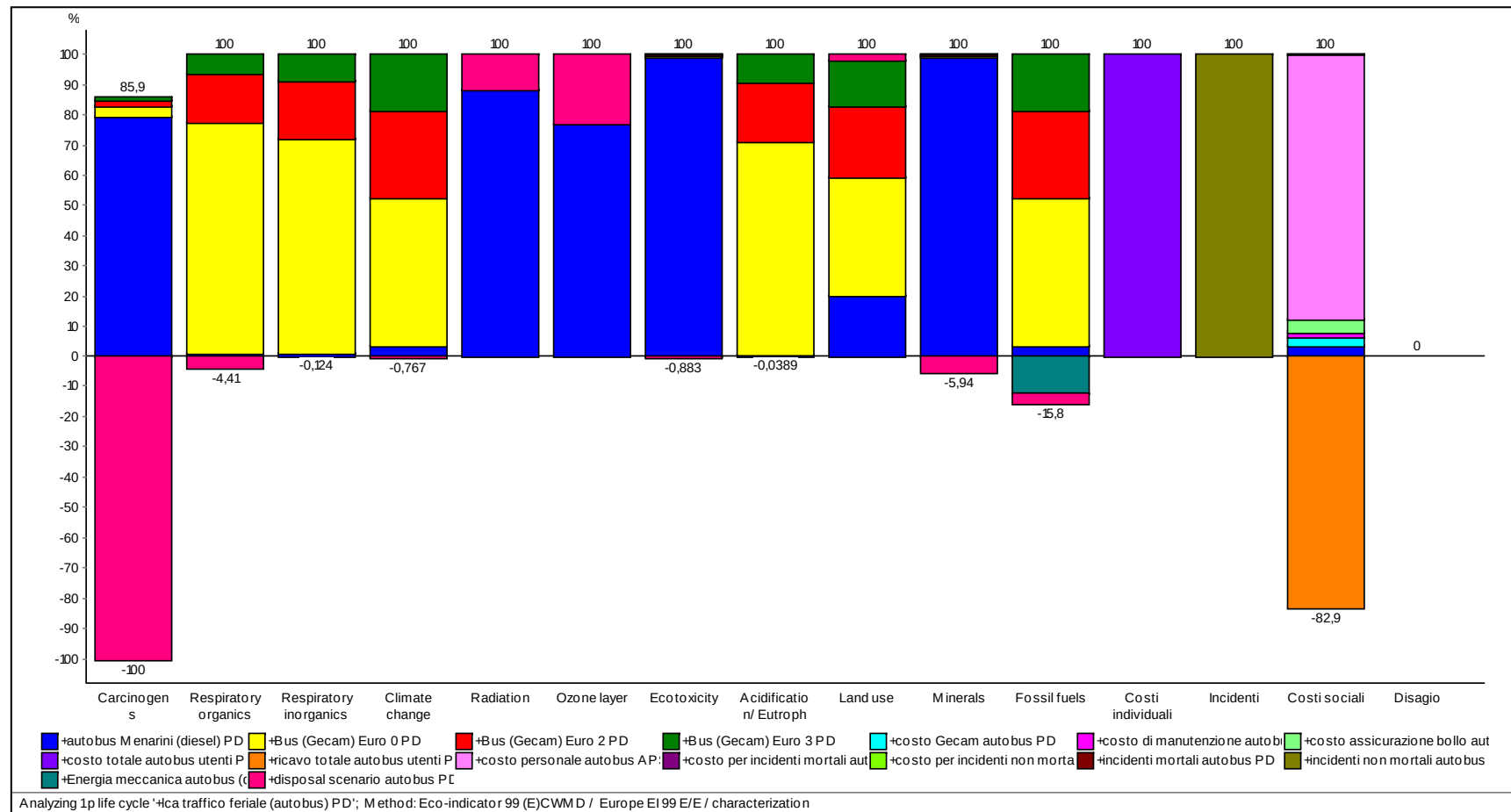
Parte II – Capitolo 3

Tabella 88 - Caratterizzazione LCA Traffico Feriale Autobus PD (continua)

Impact category	Unit	+costo totale autobus utenti PD	+ricavo totale autobus utenti PD	+costo personale autobus APS PD	+costo per incidenti mortalità autobus PD	+costo per incidenti non mortalità autobus PD	+incidenti mortalità autobus PD	+incidenti non mortalità autobus PD	+Energia meccanica autobus (diesel) PD	+disposal scenario autobus PD
Carcinogens	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,0000395
Respiratory organics	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,00000291
Respiratory inorganics	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,0000656
Climate change	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,0000147
Radiation	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	7,07E-12
Ozone layer	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	0,000000013
Ecotoxicity	PAF*m2yr	x	x	x	x	x	x	x	x	-7,89
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	x	x	x	x	x	x	x	x	-1,17
Land use	PDF*m2yr	x	x	x	x	x	x	x	x	1,43
Minerals	MJ surplus	x	x	x	x	x	x	x	x	-14,5
Fossil fuels	MJ surplus	x	x	x	x	x	x	x	-1210	-284
Costi individuali	euro	49000	x	x	x	x	x	x	x	x
Incidenti	DALY	x	x	x	x	x	0	0,00000601	x	x
Costi sociali	euro	x	-49000	51800	0	2,02	x	x	x	0
Disagio	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Parte II – Capitolo 3

Figura 38 - Caratterizzazione LCA Traffico Feriale Autobus PD



Parte II – Capitolo 3

Tabella 89 - Valutazione LCA Traffico Feriale Autobus PD

SimaPro 5.0	LCIA Profile Date:		28/03/2003						
Project: traffico Padova	Time:		12.57.47						
Method:	Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E								
Value:	Weighted indicator								
Per impact category:	Yes								
Impact category	Unit	Total	+autobus Menarini (diesel) PD	+Bus (Gecam) Euro 0 PD	+Bus (Gecam) Euro 2 PD	+Bus (Gecam) Euro 3 PD	+costo Gecam autobus PD	+costo di manutenzione autobus PD	+costo assicurazione bollo autobus 12mt PD
Total	Pt	1,65E+03	4,35E+01	1,11E+03	3,61E+02	1,85E+02	0,00E+00	0	0
Carcinogens	Pt	-1,09E-01	6,09E-01	2,52E-02	1,50E-02	9,68E-03	x	x	x
Respiratory organics	Pt	1,22E+00	1,53E-02	9,76E-01	2,05E-01	8,39E-02	x	x	x
Respiratory inorganics	Pt	1,03E+03	1,05E+01	7,28E+02	1,98E+02	9,01E+01	x	x	x
Climate change	Pt	3,70E+01	1,33E+00	1,81E+01	1,08E+01	6,98E+00	x	x	x
Radiation	Pt	1,17E-06	1,03E-06	x	x	x	x	x	x
Ozone layer	Pt	1,10E-03	8,52E-04	x	x	x	x	x	x
Ecotoxicity	Pt	8,63E+00	8,64E+00	3,61E-02	2,15E-02	1,39E-02	x	x	x
Acidification/ Eutrophication	Pt	2,94E+02	1,34E+00	2,08E+02	5,73E+01	2,71E+01	x	x	x
Land use	Pt	7,84E+00	1,56E+00	3,10E+00	1,85E+00	1,19E+00	x	x	x
Minerals	Pt	7,73E+00	8,15E+00	3,50E-02	2,09E-02	1,35E-02	x	x	x
Fossil fuels	Pt	2,68E+02	1,13E+01	1,55E+02	9,24E+01	5,96E+01	x	x	x
Costi individuali	Pt	0,00E+00	x	x	x	x	x	x	x
Incidenti	Pt	1,17E-01	x	x	x	x	x	x	x
Costi sociali	Pt	0,00E+00	0,00E+00	x	x	x	0,00E+00	0	0
Disagio	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x

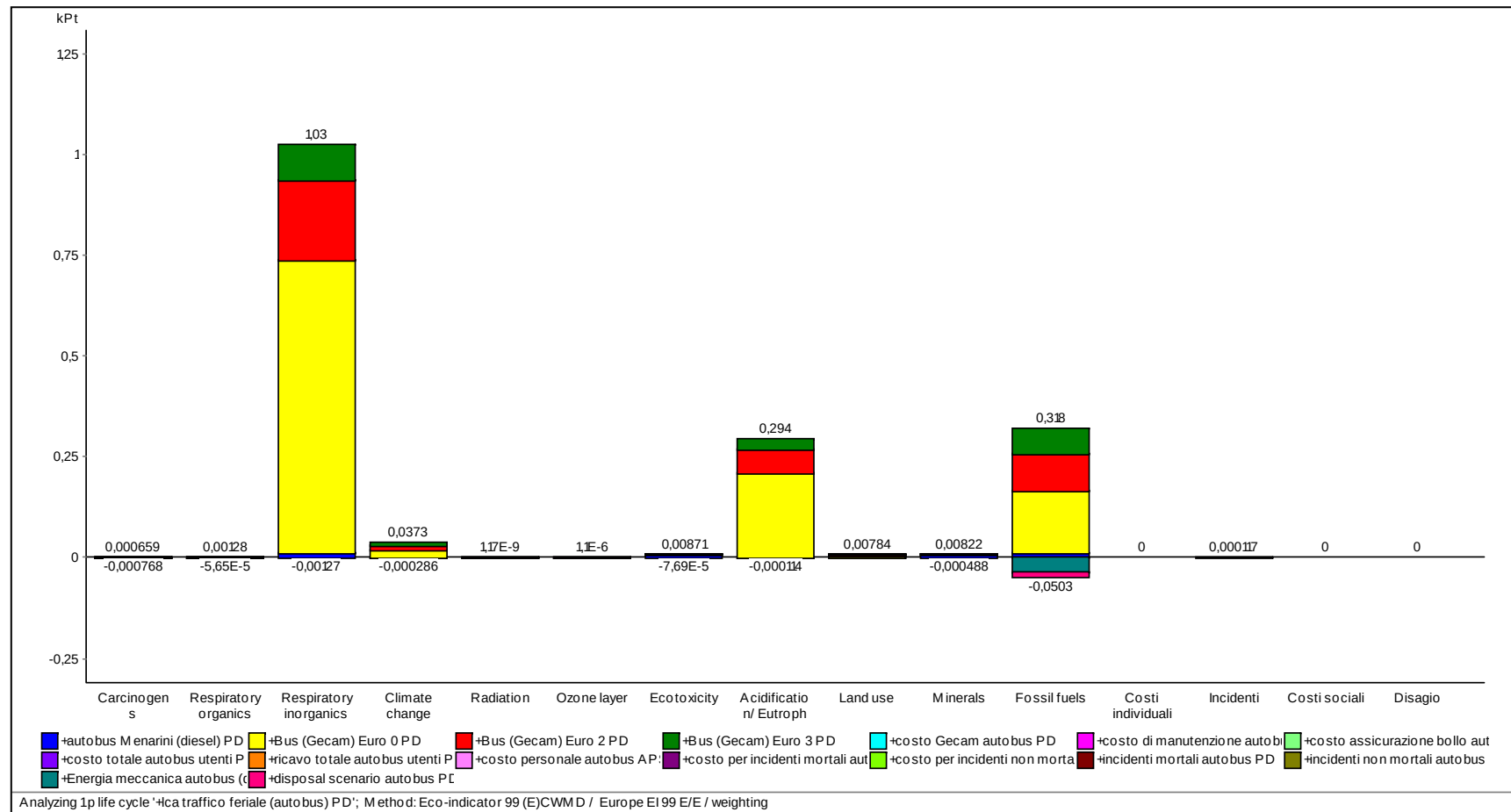
Parte II – Capitolo 3

Tabella 89 - Valutazione LCA Traffico Feriale Autobus PD (continua)

Impact category	Unit	+costo totale autobus utenti PD	+ricavo totale autobus utenti PD	+costo personale autobus APS PD	+costo per incidenti mortali autobus PD	+costo per incidenti non mortali autobus PD	+incidenti mortali autobus PD	+incidenti non mortali autobus PD	+Energia meccanica autobus (diesel) PD	+disposal scenario autobus PD
Total	Pt	0	0	0	0	0	0	0,117	-40,7	-12,5
Carcinogens	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,768
Respiratory organics	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,0565
Respiratory inorganics	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	-1,27
Climate change	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,286
Radiation	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	0,000000137
Ozone layer	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	0,000252
Ecotoxicity	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,0769
Acidification/ Eutrophication	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,114
Land use	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	0,139
Minerals	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,488
Fossil fuels	Pt	x	x	x	x	x	x	x	-40,7	-9,54
Costi individuali	Pt	0	x	x	x	x	x	x	x	x
Incidenti	Pt	x	x	x	x	x	0	0,117	x	x
Costi sociali	Pt	x	0	0	0	0	x	x	x	0
Disagio	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x

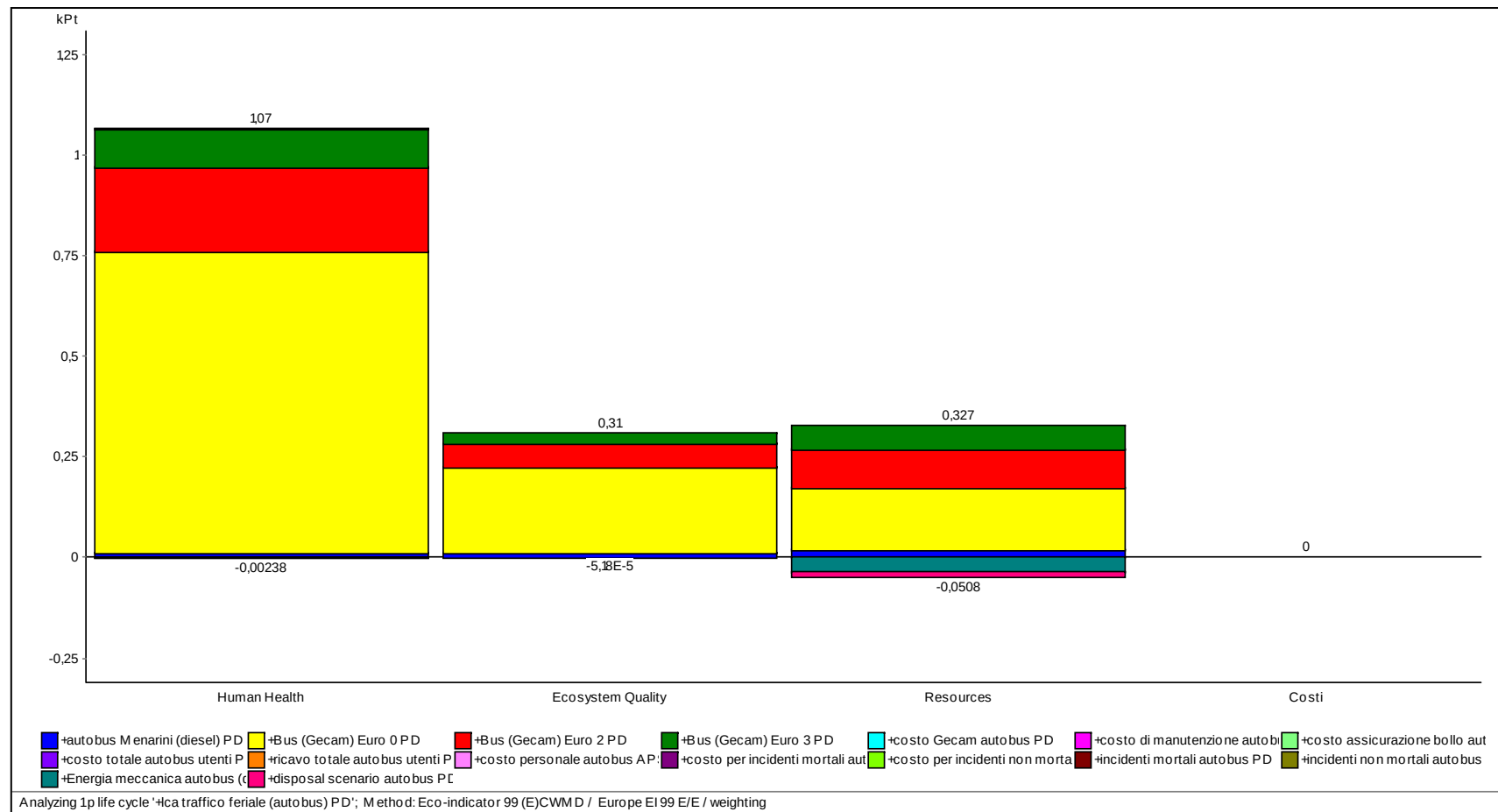
Parte II – Capitolo 3

Figura 39 - Valutazione LCA Traffico Feriale Autobus PD



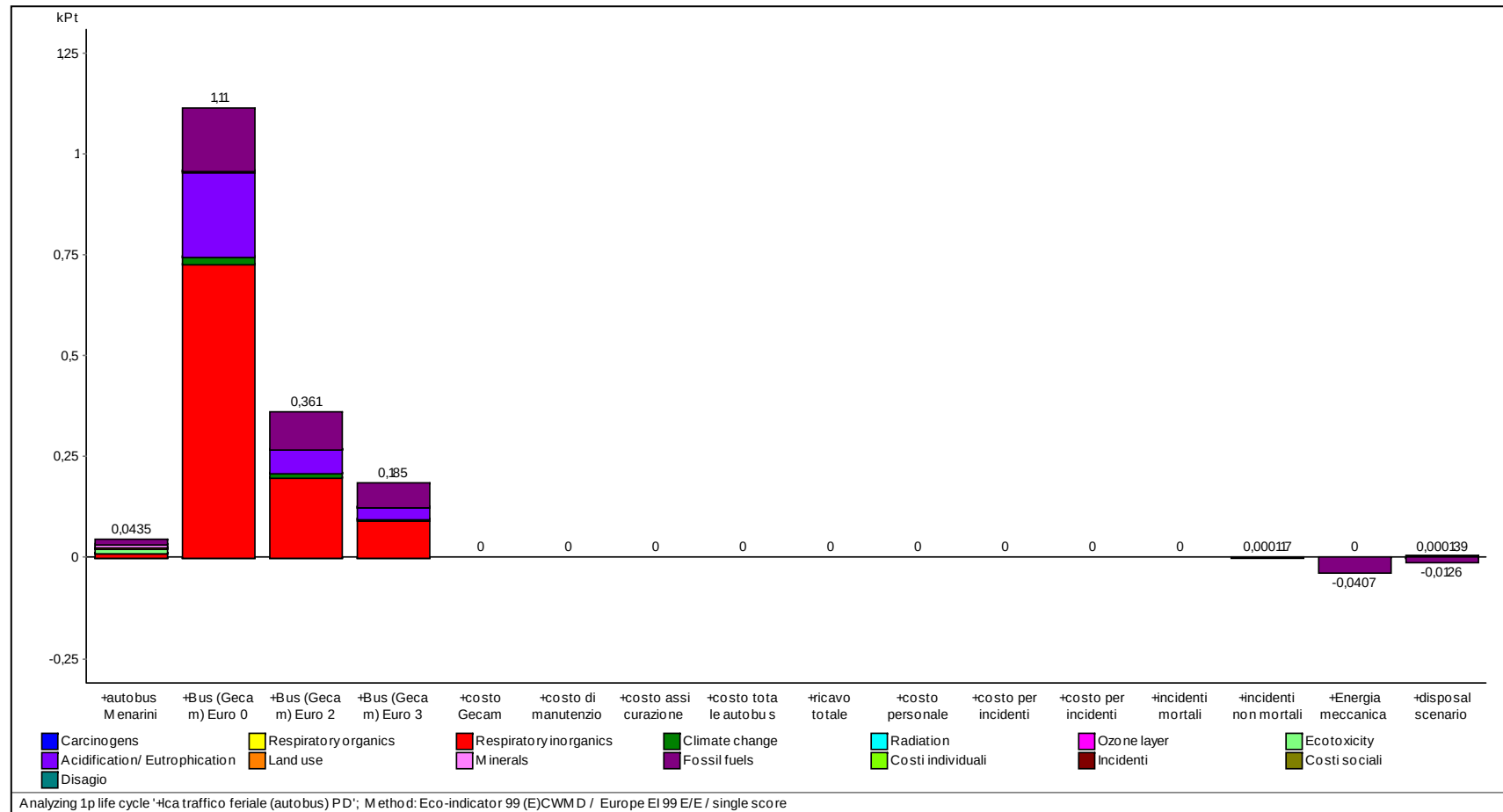
Parte II – Capitolo 3

Figura 40 - Valutazione LCA Traffico Feriale Autobus PD, per categoria di Danno



Parte II – Capitolo 3

Figura 41 - Valutazione LCA Traffico Feriale Autobus PD, in base alle Componenti



3.9 LCA del fine vita dei veicoli

3.9.1 Introduzione

I processi di rottamazione di un veicolo, sia esso a due o quattro ruote, sono sostanzialmente analoghi. Si è provveduto, pertanto, a creare un waste scenario unico che definisse le attività necessarie allo smembramento del mezzo e alla separazione delle frazioni recuperabili.

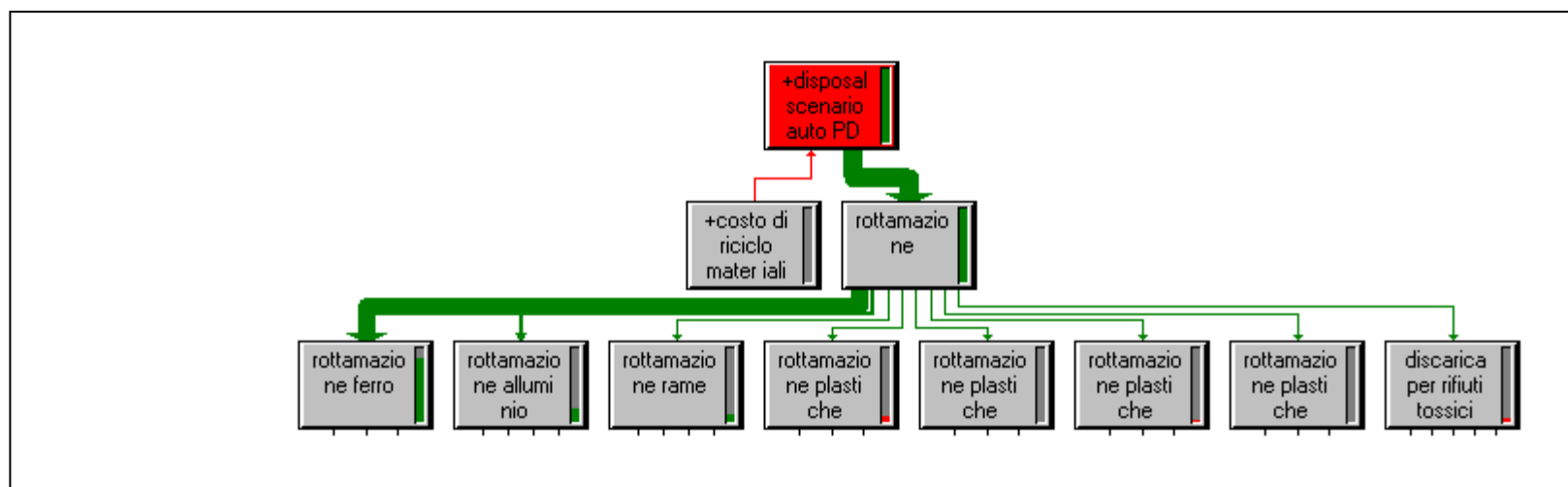
La creazione di specifici *disposal scenario* ha consentito, successivamente, di riferire i processi introdotti nel waste scenario alle effettive caratteristiche dei veicoli, in particolare per quanto concerne le percentuali in peso dei singoli materiali.

Di seguito sono descritte le caratteristiche del disposal e del waste scenario con l'indicazione delle modifiche effettuate per considerare le peculiarità di ciascun mezzo di trasporto. Infine, a titolo esemplificativo, sono presentati i risultati della caratterizzazione e della valutazione del *disposal scenario* relativo alle autovetture.

3.9.2 Caratteristiche del fine vita

Il *disposal scenario* proposto modella lo smembramento delle diverse componenti recuperabili del veicolo. È composto da 1 processo, che individua i costi ed i ricavi connessi all'attività di rottamazione e di riciclo e da un *waste scenario*, che caratterizza nel dettaglio le fasi di cui si compone la procedura di demolizione e recupero delle componenti riutilizzabile del mezzo. Per ciascuna componente sono previste modalità sensibilmente differenti (*waste treatment*), in particolare le materie plastiche hanno un destino connesso alle proprie caratteristiche chimiche (PP, PVC e PE vengono riciclate, fluff e le altre plastiche sono inviate in discarica). In Figura 42 è esplicitata la struttura dello scenario di rottamazione/smaltimento.

Figura 42 – Dendrogramma del Processo Rottamazione



3.9.2.1 I costi ed i ricavi della rottamazione

Per la valutazione dei costi e dei ricavi della rottamazione è stato creato un processo costituito da due componenti:

- un **costo amministrativo**, sostenuto dal singolo (dall'azienda dei trasporti, nel caso dei mezzi pubblici) per inviare il veicolo alla rottamazione e che comprende anche quello per la radiazione dal PRA;
- un **costo sociale**, posto negativo in quanto rappresenta un vantaggio per la collettività, che individua il ricavo percepito da chi effettua l'attività di separazione fisica dei materiali. Questo vantaggio è connesso al fatto che si genera un profitto altrimenti non realizzabile in quanto il rottame è, per sua stessa natura, un rifiuto ovvero non ha un ulteriore utilizzo⁸⁸. Il guadagno è calcolato ipotizzando un costo di acquisto, per chi effettua le operazioni di rottamazione, pari a 0,26 €/kg di materiale, ed un ricavo dalla vendita, per lo stesso soggetto, pari a 0,39 €/kg. La differenza, 0,13 €/kg, rappresenta un guadagno per l'operatore e, indirettamente per la collettività. Questo valore è moltiplicato per il peso complessivo del veicolo utilizzato nel modello definendo il guadagno complessivo.

In Tabella 90 vengono indicati i costi amministrativi ed i guadagni complessivi per ogni categoria di veicoli.

⁸⁸ Per una definizione di rifiuto, si cfr. decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22, articolo 6, comma 1, lettera a (Decreto "Ronchi") e Decreto Legge 8 luglio 2002, n. 138, articolo 14, in il legislatore fornisce l'interpretazione autentica di "rifiuto".

Tabella 90 - Costi e guadagni dalle attività di rottamazione

	Costo amministrativo	Peso veicolo (kg)	Guadagno da rottamazione
Autoveicoli	€ 103,29	980	€ 127,40
Motoveicoli	€ 51,65	95	€ 12,35
Veicoli Comm. Leggeri	€ 103,29	1.500	€ 195,00
Veicoli Comm. Pesanti	€ 309,77	7.000	€ 910,00
Autobus	€ 550,00	12.000	€ 1.560,00

3.9.2.2 La separazione dei materiali

Al fine di valutare nel dettaglio i consumi e le emissioni connesse alle molteplici fasi in cui è strutturata l'operazione di rottamazione sono stati creati alcuni processi specifici per ciascuna di esse:

- **Raccolta - compressione rottami**: il processo individua l'energia elettrica (1 kWh per la compressione di 55 kg di rottame) connessa all'operazione di compressione cui la vettura è soggetta prima del trasporto alla struttura che eseguirà fisicamente la separazione delle componenti recuperabili. Individua, inoltre, anche il consumo del mezzo per il trasferimento alla medesima struttura (3 minuti, in quanto generalmente le operazioni avvengono in siti adiacenti). Questo processo è applicato a tutti i materiali in quanto avviene a monte della selezione delle singole componenti;
- **Metalli non ferrosi frantumati, Proler, Fluff + Terra**: il processo è costituito da 3 co-product ed individua sia il consumo di energia e di acqua che le emissioni in atmosfera connessi alle attività che consentono di separare i metalli ferrosi (acciaio e ghisa) dalle altre componenti. Di queste, il fluff⁸⁹ e la terra saranno avviate alla discarica, i metalli saranno ulteriormente frantumati e trasferiti per

⁸⁹ Il fluff è la componente non ferrosa che deriva dalla frantumazione delle carcasse dei veicoli.

essere successivamente selezionati. Di seguito (Tabella 91), è presentato il processo metalli ferrosi frantumati, proler, fluff + terra.

Tabella 91 – Processo Metalli ferrosi frantumati, Proler, Fluff + Terra

SimaPro 5.0		Processes	Date:	28/03/2003
Project: traffico Padova			Time:	12.22.36
Process				
Resources		Amount	Unit	
Water		5486.77	kg	
Electricity/heat		Amount	Unit	

metalli. Il processo prevede anche l'utilizzo di un mezzo, nello specifico il *Waste Collection Truck*, che ha lo scopo di valutare il consumo e le emissioni connesse alla movimentazione del materiale all'interno delle strutture di stoccaggio e connesse all'invio delle sostanze inerti in discarica.

3.9.2.3 Il fine vita dei materiali

Effettuate, tramite le operazioni sopra descritte, le attività di separazione delle diverse componenti di un veicolo, ciascuna di esse è inviata al recupero coerentemente con le proprie caratteristiche:

- **Riciclo Ferro**: il processo si basa sul *waste treatment* Recycling Ferro Metals, già incluso dal codice. Esso individua il consumo di energia elettrica e quello di carburante connessi al trattamento di acciaio. Si ipotizza l'utilizzo di un mezzo di trasporto su gomma (*waste collection truck*) e di 5 MJ per la fusione 1 kg di metallo;
- **Riciclo Alluminio**: il processo si basa sul *waste treatment* Recycling Aluminium, già incluso dal codice. Esso individua il consumo di energia elettrica e quello di carburante connessi al trattamento del metallo, proveniente dalla raccolta differenziata domestica. Si ipotizza l'utilizzo di un mezzo di trasporto su gomma (*waste collection truck*) e di 1 MJ per la fusione 1 kg di metallo;
- **Riciclo Rame**: il processo si basa sul *waste treatment* Recycling non-ferro, già incluso dal codice. Esso individua il consumo di energia elettrica e quello di carburante connessi al trattamento di un materiale non ferroso. Si ipotizza l'utilizzo di un mezzo di trasporto su gomma (*waste collection truck*) e di 1 MJ per la fusione 1 kg di metallo;

- **Smaltimento Plastiche**: il processo si basa su un *waste treatment* individuato dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente ed i Servizi Tecnici (APAT, ex ANPA) nel proprio database I-LCA. Il processo definisce le emissioni e gli impatti connessi all'occupazione del suolo di una discarica per rifiuti tossici.

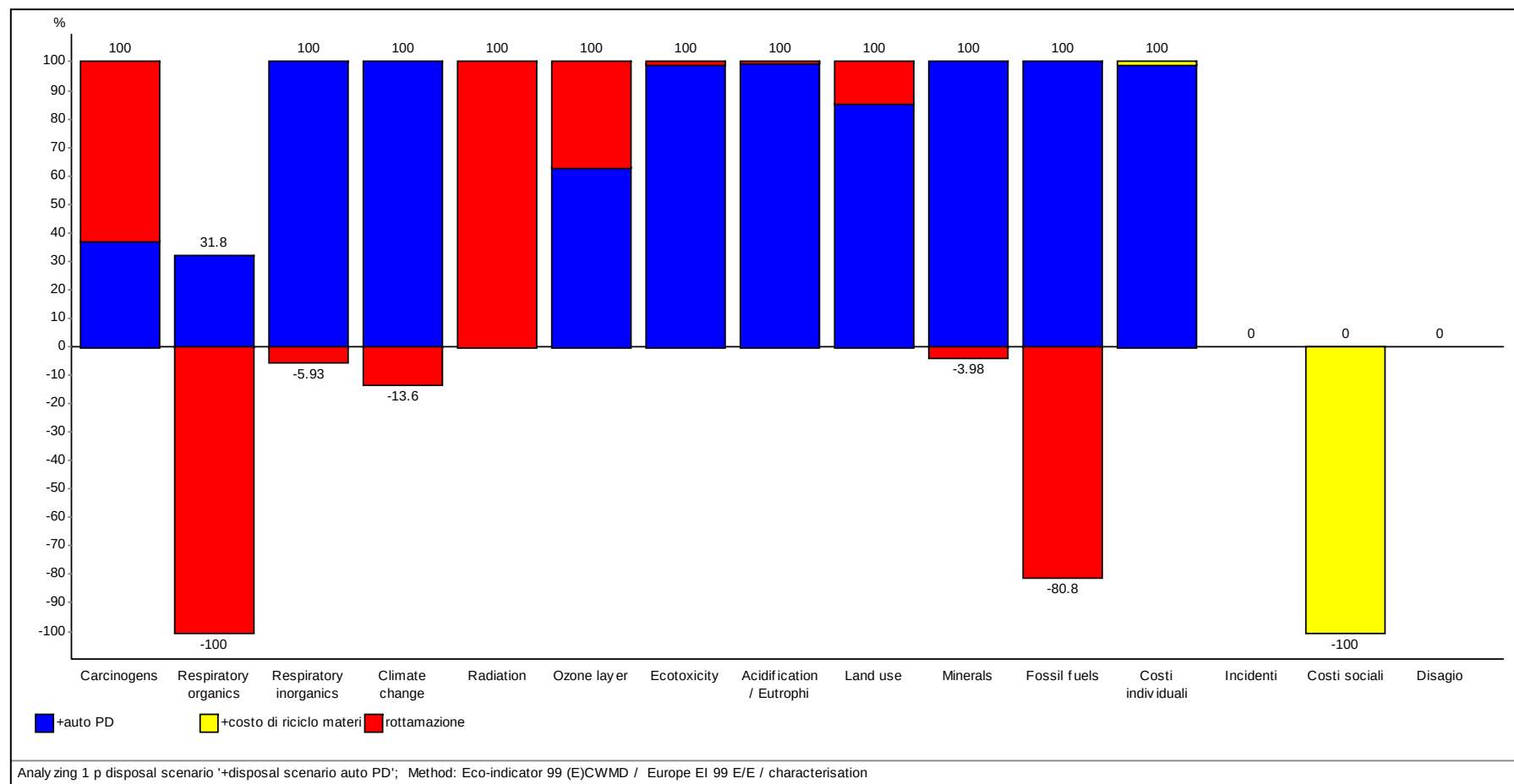
3.9.3 La valutazione del disposal scenario Auto

Come accennato nell'introduzione, si presenta a titolo esemplificativo la valutazione del *disposal scenario* Auto.

I processi connessi all'attività di rottamazione generano un guadagno ambientale di -82 Pt, che riduce il danno totale del fine vita a 210 Pt. Il guadagno è dovuto, principalmente, alla categoria di impatto Fossil Fuels (2.470 MJ surplus) a seguito del mancato utilizzo di 1.300 kg di carbone necessari a produrre energia.

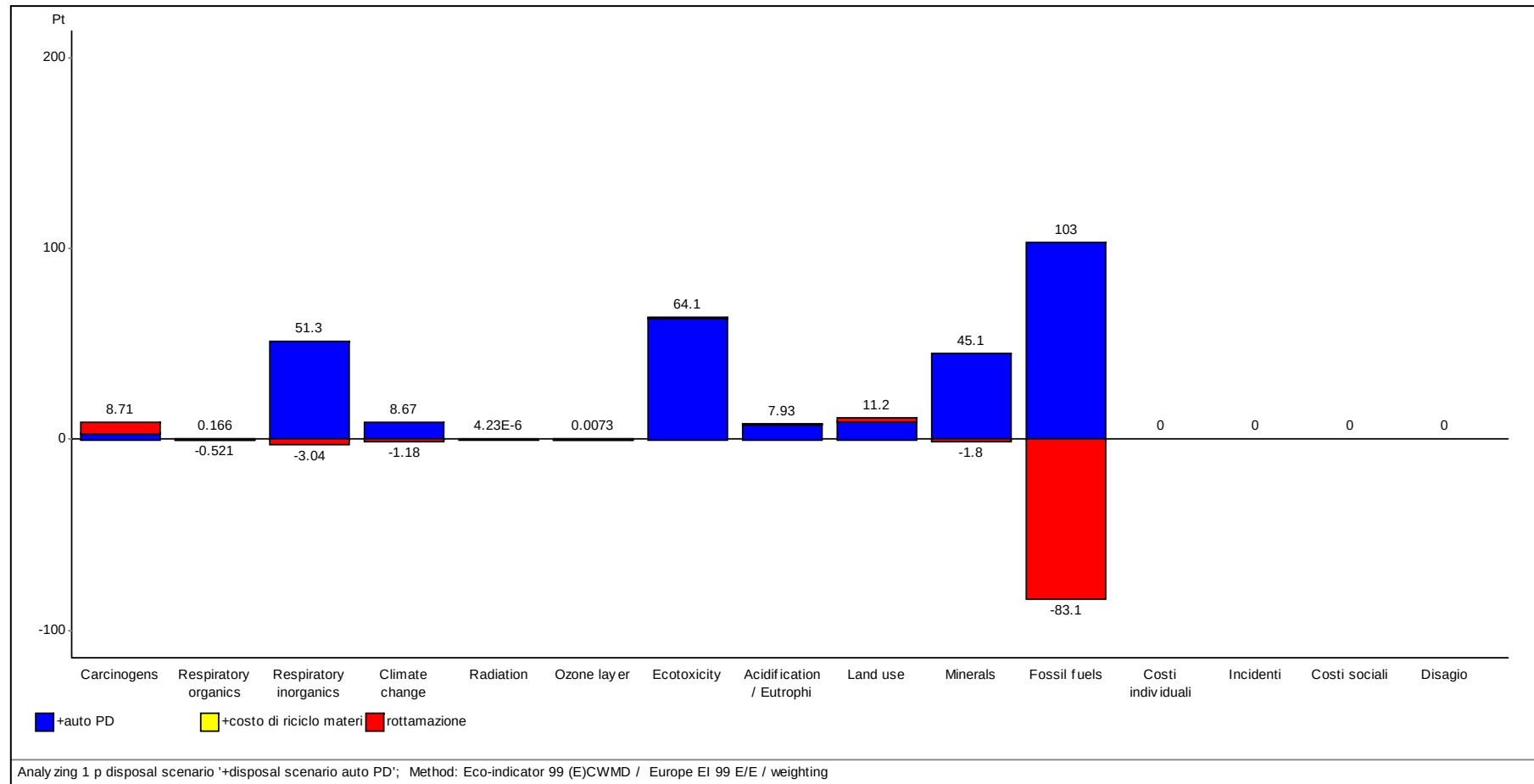
Parte II – Capitolo 3

Figura 43 - Caratterizzazione del Disposal Scenario Auto PD



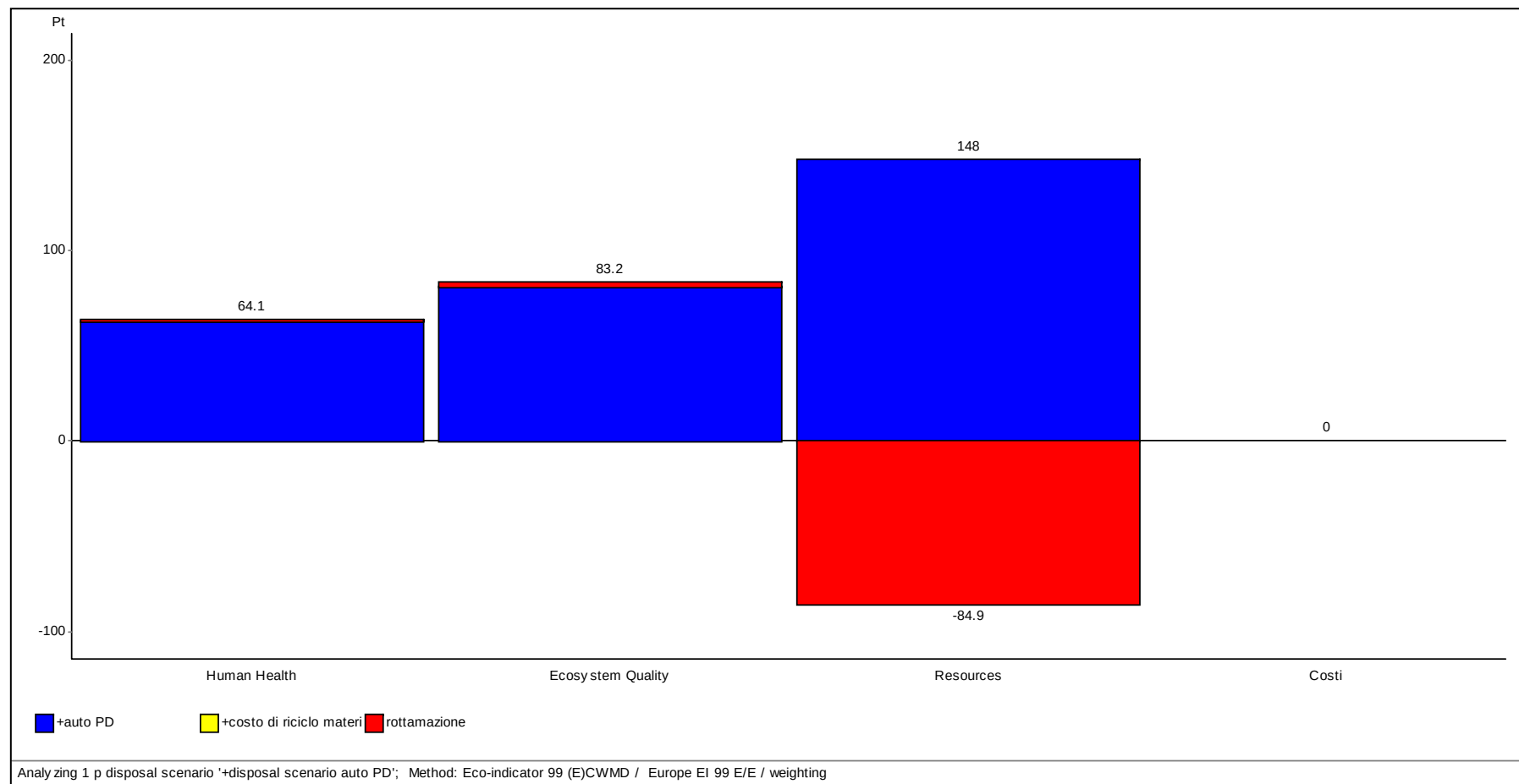
Parte II – Capitolo 3

Figura 44 - Valutazione del Disposal Scenario Auto PD



Parte II – Capitolo 3

Figura 45 - Valutazione del Disposal Scenario Auto PD, per categorie di Danno



3.10 LCA del traffico complessivo di un giorno feriale

3.10.1 Introduzione

Analizzati nel dettaglio i singoli aspetti caratterizzanti ciascuna tipologia di veicoli, è stato realizzato un LCA complessivo che consente di valutare il fenomeno del traffico all'interno dell'area oggetto di studio. Il tree, rappresentato in Figura 46, consente di evidenziare i principali agenti di impatto nonché i flussi con cui essi si esprimono. In Tabella 98 è presentato, invece, lo schema di LCA Traffico complessivo PD.

Figura 46 - Dendrogramma di LCA Traffico complessivo PD

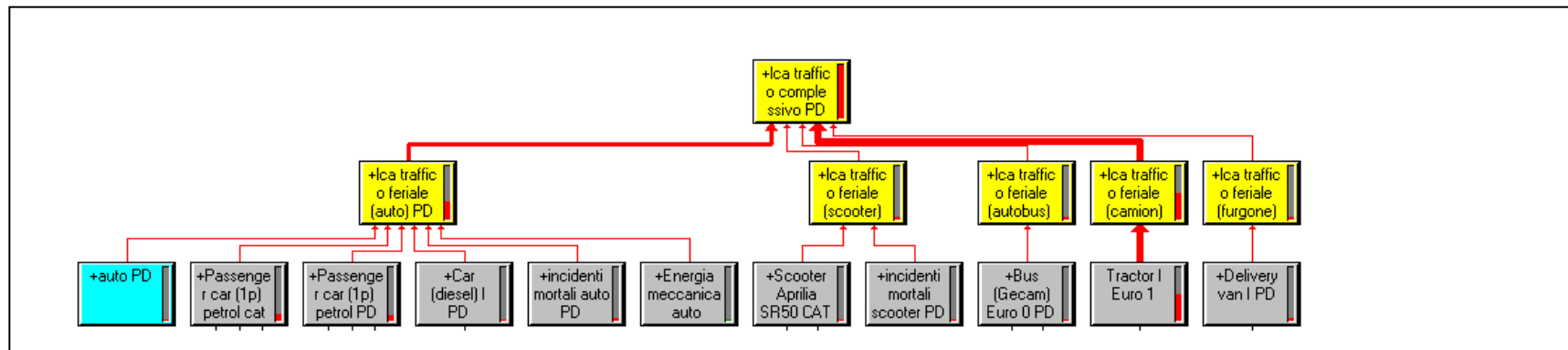


Tabella 92 - LCA Traffico complessivo PD

SimaPro 5.0	Product stages		Date:	28/03/2003
Project: traffico Padova			Time:	14.58.54
Life cycle:				
Name		Comment		
+lca traffico complessivo PD				
Processes	Amount	Unit	Comment	
+costo manutenzione asfalto PD	1	day	km di strade nel comune:725 km Quartieri della città: 7 km di strade per quartiere: 725 / 7 = 103.5 Manutenzione totale del manto stradale: 5 anni Km di cui viene fatta la manutenzione all'anno: 103.5 / 5 = 20.7 Km al giorno: 20.7 km / 365 = 0,057 km	
+manutenzione asfalto PD	0,057	km		
Additional life cycles	Number	Comment		
+lca traffico feriale (auto) PD	1	Auto		
+lca traffico feriale (scooter) PD	1	Scooter		
+lca traffico feriale (autobus) PD	1	Autobus		
+lca traffico feriale (camion) PD	1	Camion		
+lca traffico feriale (furgone) PD	1	Furgone		

3.10.2 Caratterizzazione di LCA Traffico Complessivo

In Tabella 93 e Figura 47 sono riportati i risultati della caratterizzazione, da cui possiamo trarre le seguenti conclusioni⁹⁰:

- I **costi individuali complessivi** ammontano a 1.080.000 €. I contributi maggiori derivano dai processi delle autovetture (466.000 €), da quelli dei camion (426.000 €) e dai furgoni (113.000).
- I **costi sociali** ammontano a 41.400 €. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto alle auto, in special modo al tempo perso nel traffico che incide per 22.700 €. Prevedibilmente quasi il 25% dei costi sociali (10.100 €) è dovuto agli autobus ed in particolare ai costi sostenuti per il personale (51.800 €), solo

⁹⁰ Per una definizione delle unità di misura adottate in fase di caratterizzazione e valutazione, cfr. § 1.4.5.

parzialmente recuperati dai ricavi dalla vendita dei titoli di viaggio (49.000 €). Un contributo significativo è dovuto anche alle 2 ruote (3.920 €, quasi il 10% del totale), principalmente a causa degli alti costi sociali connessi con gli incidenti non mortali. La manutenzione delle strade incide per circa il 5,7%, con 2.360 €.

- Complessivamente il sistema sostiene nell'arco della giornata costi per il sistema dei trasporti pari a 1.121.400 €. Considerando che il PIL della Provincia è pari a 19,332 miliardi di euro, l'incidenza dei costi è di circa 1,5%.
- L'impatto dovuto agli **incidenti** è pari a 0.161 DALY, ovvero 58.8 giorni. Il contributo maggiore è dato com'era prevedibile dalle autovetture con oltre il 62.5% (0.101 DALY). Assai significativo il contributo delle 2 ruote con oltre il 35% (0.057 DALY).
- Relativamente alla categoria di danno **Human Health**, che, escludendo gli impatti dovuti ad incidenti e disagio, subisce danni per 0,648 DALY, pari a 237 giorni, la categoria di impatto più significativa è quella dei Respiratory Inorganics, con 0,575 DALY. I contributi maggiori derivano dai processi di camion, con il 74,65% (0,430 DALY), e autovetture per il 12,8% (0,0737 DALY).
- La categoria di danno **Ecosystem Quality** presenta un danno di 43.700 PDF·m²·y. L'impatto maggiore è dovuto alla categoria Acidification/Eutrophication con 30.400 PDF·m²·y. Le categorie di impatto Land Use e Ecotoxicity presentano danni fra loro paragonabili, rispettivamente, di 6.430 e 6.930 PDF·m²·y.
- Nella categoria di danno **Resources**, il danno complessivo è stimato in 265.000 MJ Surplus. L'incidenza maggiore è dovuta alla categoria di impatto Fossil Fuels con 256.000 MJ Surplus. I contributi maggiori derivano dai processi relativi

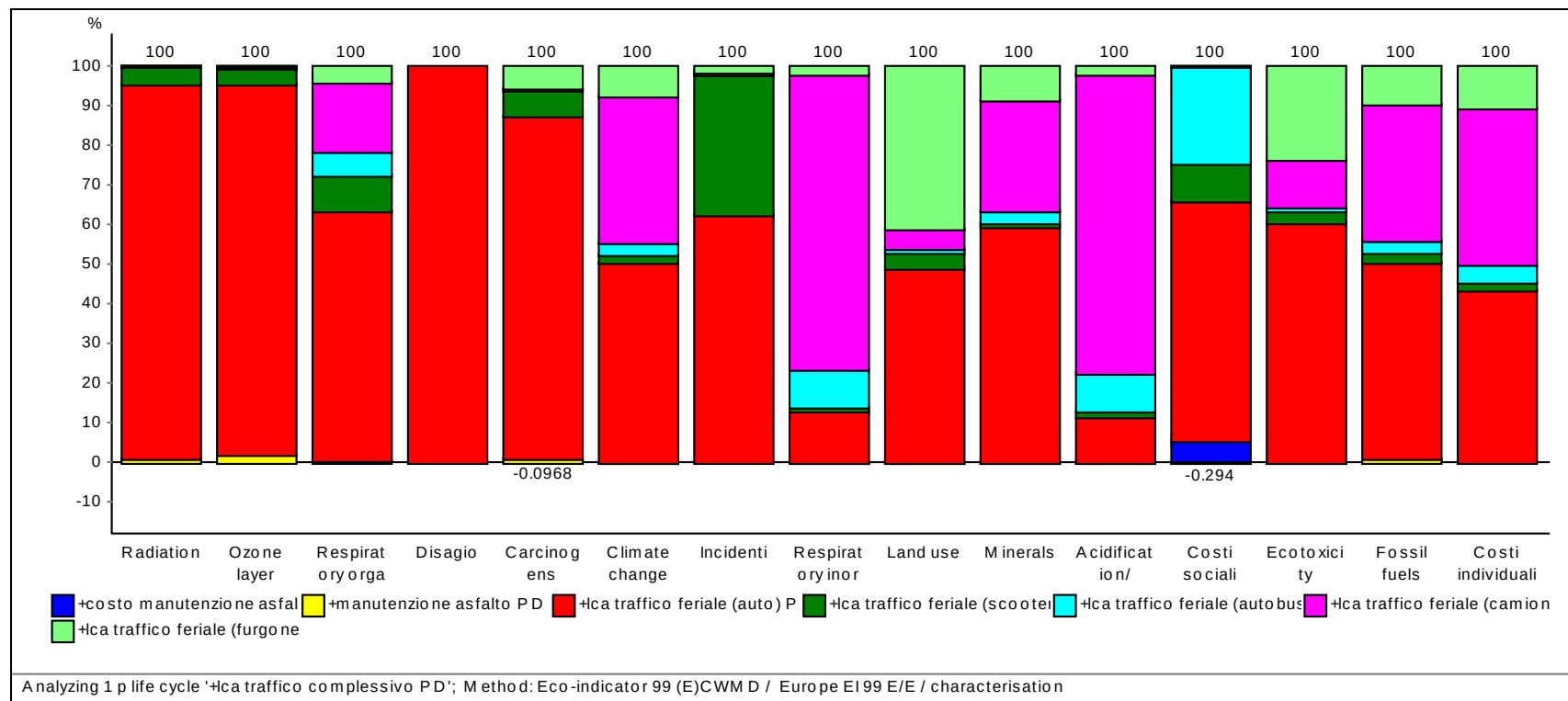
all'automobile (132.000 MJ pari a quasi il 50% del totale della categoria), a quelli dei camion (90.800 MJ, pari a quasi il 35%).

3.10.3 Valutazione di LCA Traffico Complessivo

In Tabella 94, Figura 48 e Figura 49 sono riportati i risultati della valutazione, da cui possiamo trarre le seguenti conclusioni:

- Il **danno totale** vale 28.900 Pt dovuto per il 33.43% dalle auto e per il 49.2% ai camion. I furgoni incidono per 5.84% mentre autobus e 2 ruote incidono rispettivamente per 5.71% e 5.45%.
- Il danno causato dalle auto e dai furgoni è dovuto principalmente ai Fossil Fuels (4.260 Pt per le auto, 823 Pt per i furgoni), quello causato dai camion e dagli autobus è dovuto principalmente ai Respiratory Inorganics (8.340 Pt per i camion, 1.030 Pt per gli autobus).
- Il danno dovuto alle moto è dovuto principalmente agli Incidenti (1.110Pt), dimostrando la notevole pericolosità di tale mezzo. Tuttavia il confronto tra questa categoria di impatto e le altre si riferisce a insiemi diversi: padova per la categoria Incidenti, l'Europa per le altre categorie.
- In generale il contributo maggiore al totale del danno è dovuto alle categorie di impatto Respiratory Inorganics con 11.200 Pt (38,64%) e Fossil Fuels con 8.600 Pt (29,76%). Seguono la categoria di impatto Acidification/Eutrophication con circa 10.24% (2.96E3 Pt) e, molto significativi con il 10.83% (3.13E3 Pt), gli incidenti.
- Dato significativo per gli obiettivi di Kyoto è l'apporto ai cambiamenti climatici, stimato nell'ordine del 4.38% sul totale dei danni, pari a 1.270 Pt.

Figura 47 - Caratterizzazione LCA Traffico complessivo PD



Parte II – Capitolo 3

Tabella 94 - Valutazione LCA Traffico complessivo PD

SimaPro 5.0 LCIA Profile Date: 31/03/2003 Time: 16.16.42 Project: traffico Padova Title: Method: Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E Value: Weighted indicator									
Damage category	Unit	Total	+costo manutenzione asfalto PD	+manutenzione asfalto PD	+lca traffico feriale (auto) PD	+lca traffico feriale (scooter) PD	+lca traffico feriale (autobus) PD	+lca traffico feriale (camion) PD	+lca traffico feriale (furgone) PD
Total	Pt	2.89E4	0	107	9.66E3	1.58E3	1.65E3	1.42E4	1.69E3
Costi	Pt	0	0	x	0	0	0	0	0
Ecosystem Quality	Pt	4.26E3	x	0,12361111	1.05E3	3,46041667	310	2.34E3	472
Resources	Pt	8.89E3	x	3,96180556	4.43E3	195	276	3.05E3	848
Human Health	Pt	1.57E4	x	0,33888889	4.18E3	1.3E3	1.06E3	8.83E3	368

Figura 48 - Valutazione LCA Traffico complessivo PD, per categorie di Danno

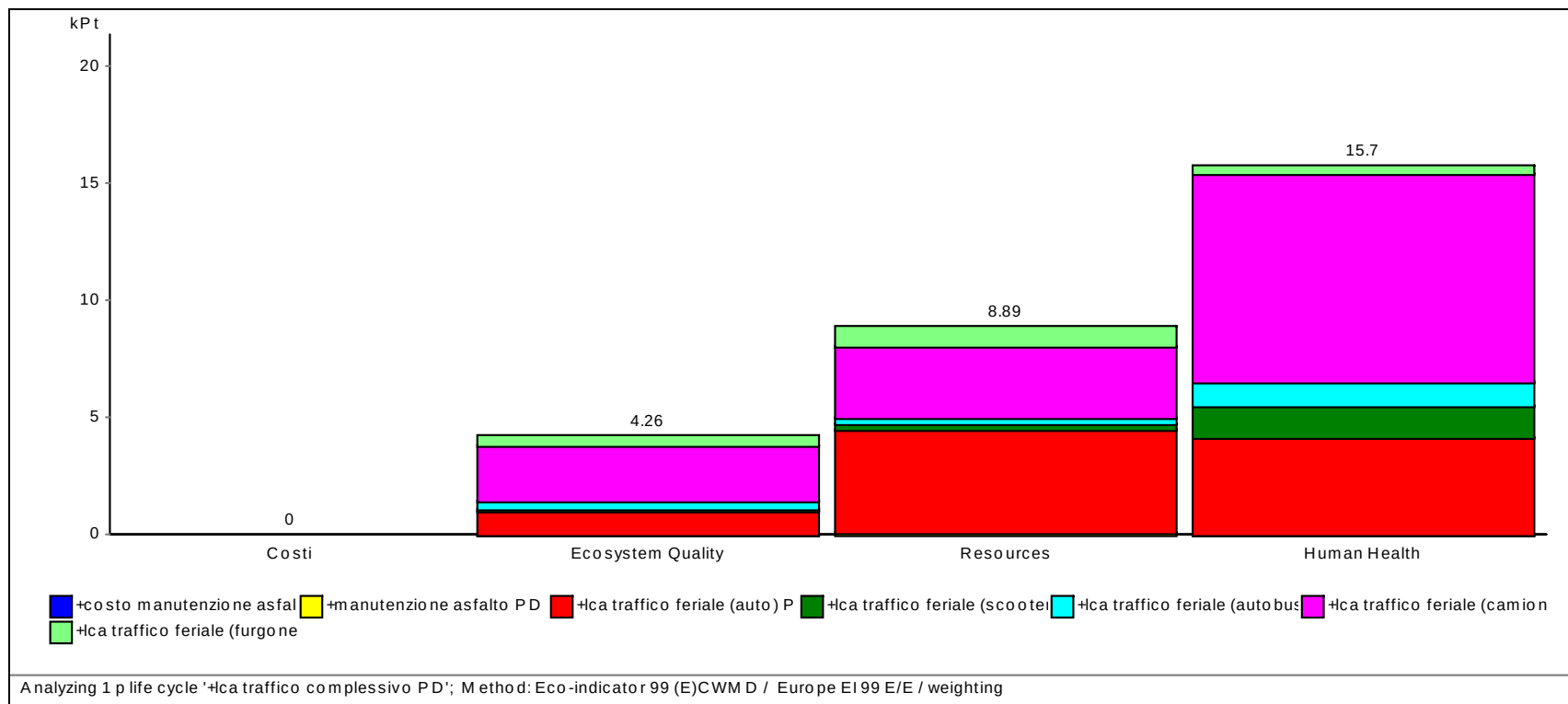
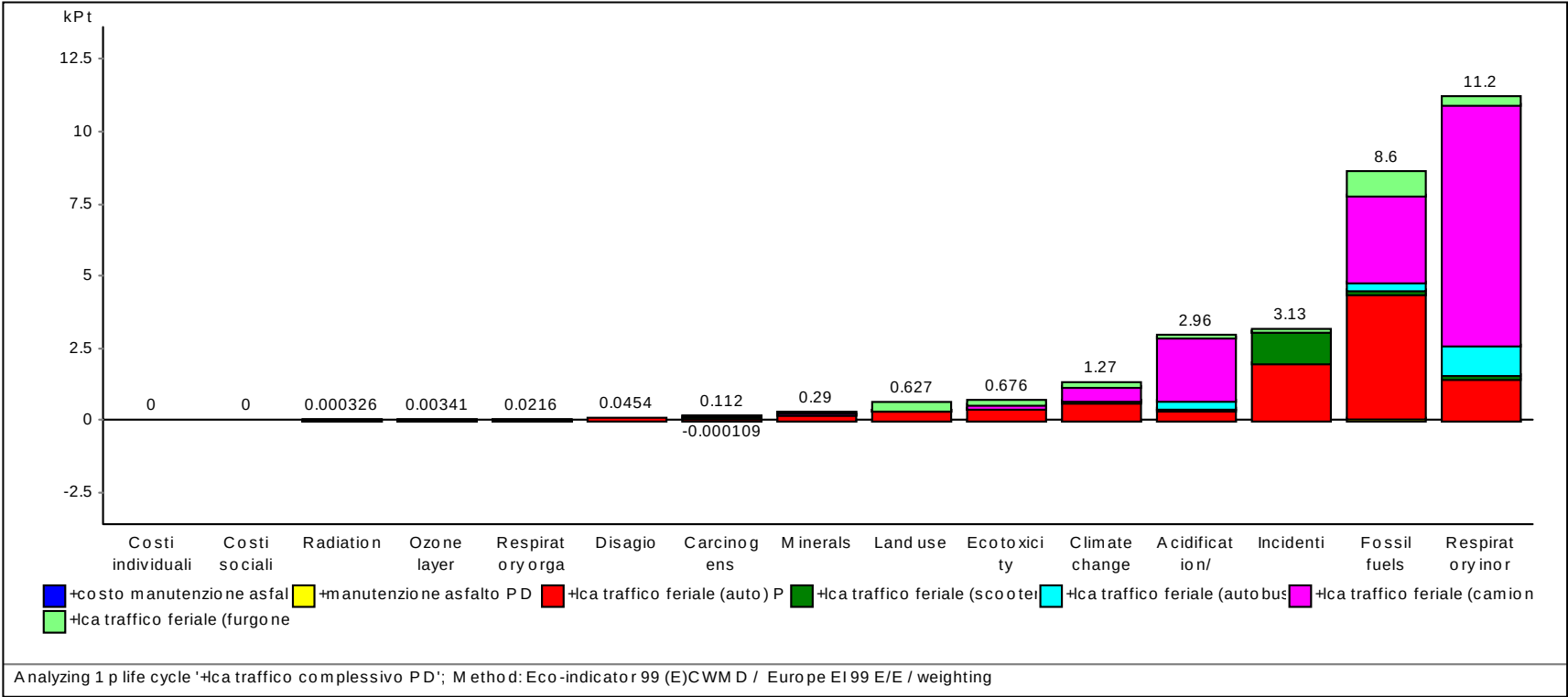


Figura 49 - Valutazione LCA Traffico complessivo PD, per categorie di impatto



4 Analisi del danno ambientale e dei costi relativi al trasporto durante una giornata nella Città di Padova. Scenario al 2010

4.1 Introduzione

In questo capitolo viene presentata un'ipotesi di riorganizzazione dell'intero sistema dei trasporti, privati e pubblici, nell'area oggetto di studio (cfr. § 3.1.2.3), aggiornato ai volumi del 2010. Le ipotesi su cui si basa l'analisi sono tratte dal Piano Urbano della Mobilità, redatto dal Comune di Padova a fine dicembre 2001.

L'aspetto maggiormente rilevante desumibile dal documento sopra citato è relativo all'aumento previsto della domanda di mobilità, privata o commerciale, in assenza di interventi di razionalizzazione e di incentivo al trasporto collettivo⁹¹: *"[...] Se la mobilità padovana evolvesse in maniera spontanea, la crescita tendenziale della mobilità continuerebbe ad esprimersi secondo le modalità odierne, cioè con un ampio e prevalente ricorso a modi di trasporto privati. Secondo le previsioni operate, in assenza di interventi efficaci in grado di orchestrare il rilancio del trasporto collettivo al 2010 la città sopporterebbe un aumento del 13% dei veicoli chilometro privati in circolazione nelle ore di punta; un analogo incremento (+ 14%) sarebbe registrato dal sistema di trasporto urbano. In altre parole, la ripartizione modale non muterebbe rispetto ad oggi e ne conseguirebbero – con una mobilità in leggera ma costante crescita - flussi veicolari più consistenti. [...] "*

Sfruttando il parametro di crescita previsto ($\cong 15\%$), sono inizialmente stati ricalcolati i volumi e la domanda di trasporto, per poi ripartire i flussi al fine di ottenere una redistribuzione del carico, spostando passeggeri dal mezzo privato (automobili e veicoli a 2 ruote) sul mezzo pubblico, nell'ottica di una mobilità maggiormente sostenibile. La redistribuzione considera, inizialmente, un obiettivo di riduzione complessiva del mezzo privato (autoveicoli e motocicli) del 30% rispetto ai valori del 2001; sulla base di questo sono stati calcolati i passeggeri che dovranno essere assorbiti dal trasporto pubblico,

⁹¹ Cfr. "Piano urbano della Mobilità", pagg. 63, Comune di Padova, dicembre 2001.

maggiormente razionalizzato e potenziato. Relativamente al trasporto commerciale, fermo restando l'obiettivo di riduzione del 30% del parco circolante ai valori del 2001, si ipotizza un maggior sfruttamento delle capacità di carico, grazie prevalentemente all'utilizzo della logistica integrata. Oltre alla razionalizzazione del trasporto, si è anche ipotizzata una sensibile variazione delle tecnologie dei veicoli, introducendo quelle ritenute maggiormente efficienti e più eco-compatibili, nell'ottica che esse possano effettivamente avere una buona diffusione nell'arco dei 10 anni di valutazione dello studio.

Il presente capitolo individua, pertanto, alcuni nuovi processi necessari all'introduzione delle tecnologie. I processi che non risentono delle variazioni sopra esposte non sono stati modificati e non vengono, pertanto, riproposti. Infine, per una miglior leggibilità dei risultati, i valori monetari sono stati considerati ai prezzi correnti al 2001, senza valutazioni temporali o di costo – opportunità. La scelta è dettata dal fatto che l'utilizzo di un tasso di sconto avrebbe reso meno confrontabili gli aspetti monetari perché non avrebbe consentito di discriminare tra i vantaggi economici derivanti realmente dalla maggior efficienza del sistema ed i flussi finanziari connessi al solo trascorrere del tempo.

4.2 Definizione degli obiettivi e dei confini dello studio

Per l'obiettivo dello studio, le funzioni del sistema, l'unità funzionale, il sistema studiato, i confini e la qualità dei dati, si confronti il cap. 3.1. I dati relativi ai consumi e alle emissioni in ciclo urbano degli autobus a metano sono stati forniti dalla BredaMenarinibus, mentre quelli dei furgoni a metano dalla Landi Renzo.

4.3 Inventario

Per traffico feriale attuale si intende il traffico di un giorno feriale relativo all'anno 2010. In Figura 50 è riportato il diagramma a blocchi dell'inventario del parco veicolare e del traffico urbano considerato nello studio del ciclo di vita attuale e in Figura 51 è riportato il diagramma a blocchi dei costi considerati nello studio.

Figura 50 - Diagramma a blocchi dell'inventario del parco veicolare nello Scenario 2010

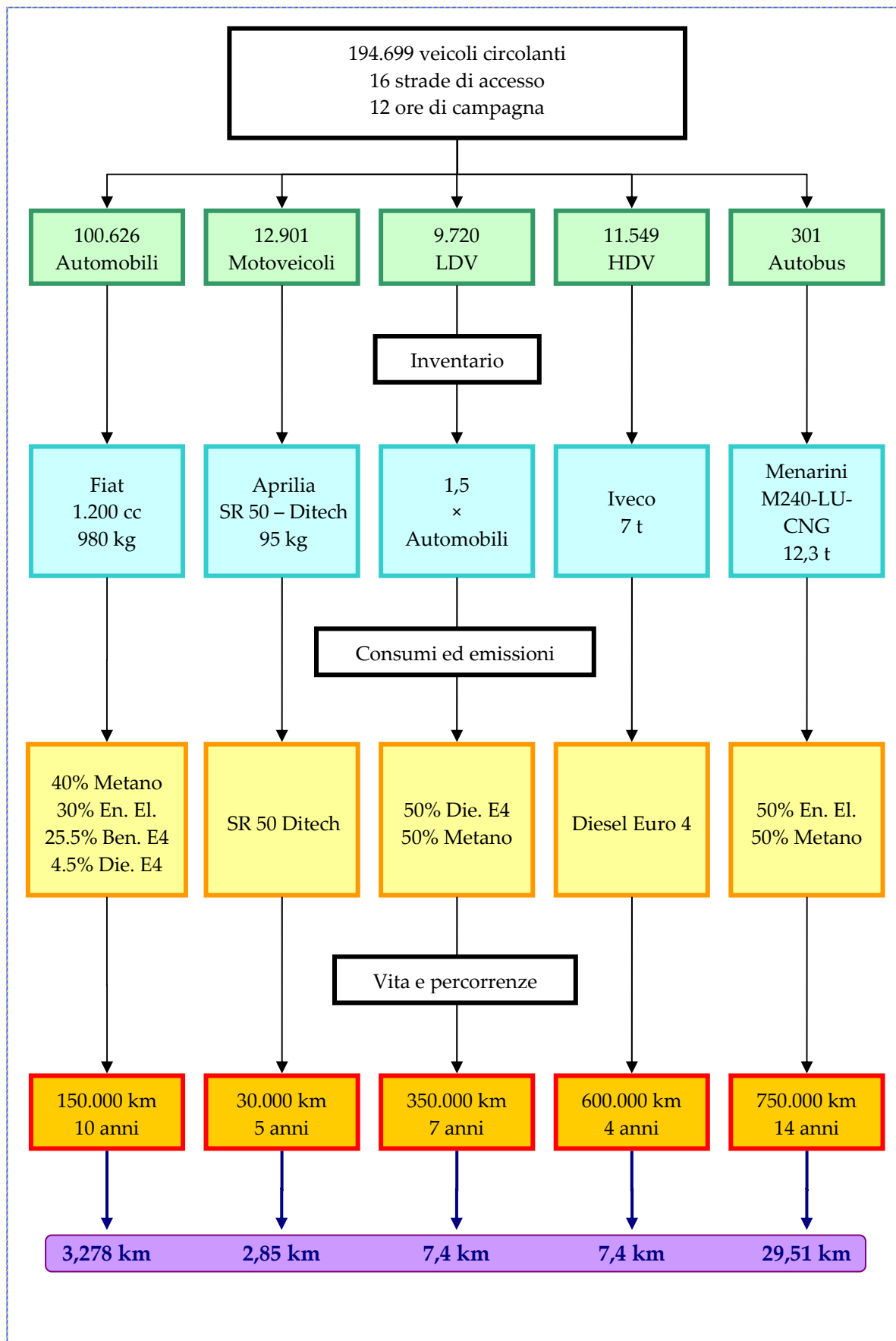
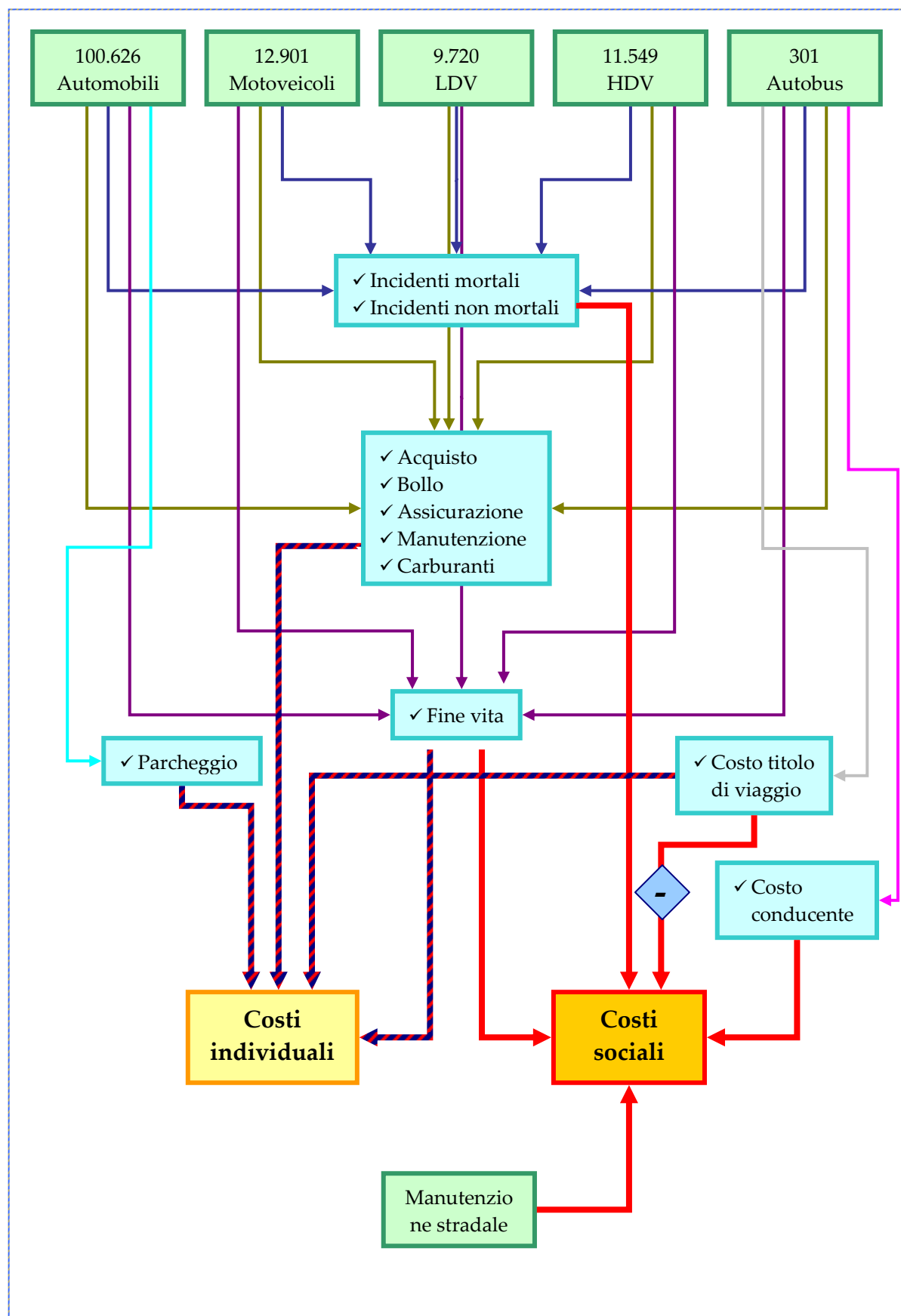


Figura 51 - Diagramma a blocchi dei costi considerati nello Scenario 2010



4.4 LCA della manutenzione stradale, Scenario 2010

Per le valutazioni sui processi di manutenzione del manto stradale, si confronti cap.3.3

4.5 LCA del traffico feriale delle autovetture, Scenario 2010

4.5.1 Introduzione

Il numero di autovetture circolanti utilizzato per il calcolo dell'LCA per il 2000 è pari a 143.752. In base alle ipotesi citate nell'introduzione, si ipotizza che nel 2010, il numero di auto effettivamente circolanti sia pari a 100.626, a seguito di politiche di limitazione del traffico e di incentivi all'utilizzo di mezzi di trasporto alternativi. Inoltre, si ipotizza che la distribuzione dei veicoli sia così costituita:

Tabella 95 - Distribuzione autovetture, Scenario 2010

Combustibile	Distribuzione
Gas Naturale	40%
Ibrido (Elettricità)	30%
Benzina (Euro 4)	25.5%
Gasolio (Euro 4)	4,5%

Le scelte adottate sono rivolte tanto alla riduzione del numero di veicoli in circolazione, con una riduzione di quasi il 40% rispetto ai volumi previsti al 2010, quanto anche all'aggiornamento tecnologico del parco mezzi con l'introduzione della trazione elettrica, nell'area oggetto di studio, e lo sviluppo del trasporto alimentato a gas.

Per veicoli a trazione elettrica si intendono veicoli di tipo ibrido, ovvero mezzi che possono essere alimentati indifferentemente da combustibili tradizionali o da elettricità. Si ipotizza che le politiche di incentivazione/disincentivazione portino all'obbligo della trazione elettrica nell'area oggetto di studio per quei veicoli che presentano questa possibilità.

La presenza di automobili alimentate a combustibili tradizionali è dettata dalla convinzione che esse rimarranno, per le caratteristiche tecniche dei propulsori, comunque presenti per soddisfare le necessità di una larga parte dei consumatori. La distribuzione di queste due categorie di veicoli è stata ipotizzata analoga a quella presente nel 2000, pertanto del totale dei veicoli alimentati a benzina e gasolio nel 2010 (30.188), l'85% sarà alimentata a benzina

ma sarà soggetta alle limitazioni previste dalla normativa europea in materia di emissioni inquinanti da motori a scoppio, secondo gli obiettivi Euro 4. Il restante 15% sarà alimentato a gasolio e rispetterà, anch'esso, la normativa Euro 4.

In base alla redistribuzione da noi effettuata, si ottiene non soltanto una riduzione del numero dei veicoli circolanti, 100.626 contro i previsti 165.314, ma anche una riduzione significativa dell'impatto ad essi collegato poiché sono introdotti mezzi maggiormente rispettosi dell'ambiente, con una riduzione del numero di veicoli alimentati a benzina o gasolio del 78%.

4.5.2 Assembly dell'automobile

Per le considerazioni sull'*assembly* dell'automobile, si confronti il capitolo 3.4.2.

4.5.3 Caratteristiche del traffico automobilistico

4.5.3.1 La combustione e le emissioni

Come specificato nell'introduzione, le tipologie di veicoli che si ipotizza circoleranno nell'area oggetto di studio sono quattro; per ciascuna di esse è stato creato *ex-novo* o modificato un processo per la quantificazione delle emissioni.

- **Car (Natural Gas) I**: è stato utilizzato lo stesso processo adottato nel calcolo dell'LCA 2000, si cfr. cap 3.4.3.1.
- **Car (Electricity)**: è il processo per la modellazione delle auto ibride, alimentate ad elettricità nell'area oggetto di studio. I dati utilizzati sono stati tratti da un produttore di questo tipo di veicoli⁹². È individuato un consumo di 16,4 kWh/100 km, ovvero 0,16 kWh/km. Si ipotizza che il consumo sia relativo al *material Electricity LV use in Italy*, già presente nel codice.
- **Passenger car (Euro 4 - benzina)**: è il processo per la modellazione delle auto alimentate a benzina. I dati utilizzati sono stati modificati a partire dal processo Passenger Car 1p petrol cat, già presente nella banca dati del codice. Per quanto

⁹² Cfr. www.micro-vett.it – Sito Istituzionale della società Micro-Vett.

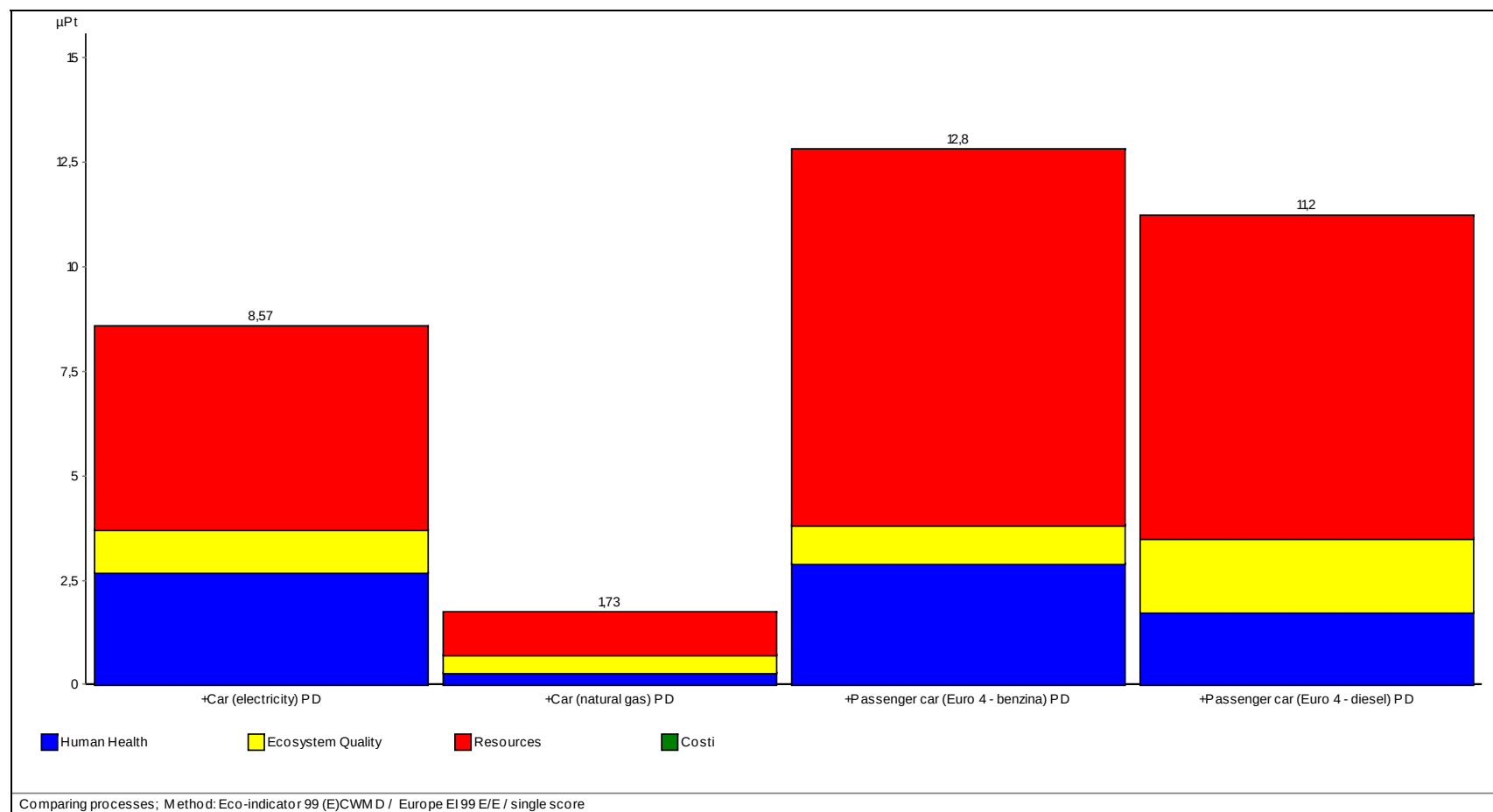
riguarda i valori di emissione di CO, NO_x, NMVOC sono stati adottati i parametri specificati nella normativa Euro 4, per PM₁₀ e PM_{2,5} è stato introdotto un valore pari alla metà di quanto previsto dalla normativa in quanto essa non distingue tra le due tipologie di particolato e per gli altri composti, tra cui Metano, SO₂, e Benzene è stato ipotizzato che il loro valore fosse pari alla metà di quanto previsto dal processo originario in quanto la normativa Euro 4 individua parametri che rappresentano circa la metà di quelli caratterizzanti i limiti Euro 3;

- **Passenger car (Euro 4 - diesel)**: è il processo per la modellazione delle auto alimentate a gasolio. I dati utilizzati sono stati modificati a partire dal processo Car Diesel I, già presente nella banca dati del codice. Per quanto riguarda i valori di emissione di CO, NO_x e Particolato sono stati adottati i parametri specificati nella normativa Euro 4 per i veicoli ad accensione comandata; per gli altri composti, tra cui N₂O, SO₂, e Benzene è stato ipotizzato che il loro valore fosse pari alla metà di quanto previsto dal processo originario in quanto la normativa Euro 4 individua parametri che rappresentano circa la metà di quelli caratterizzanti i limiti Euro 3.

In Figura 52 è presentato il confronto tra i 4 processi considerati. Da esso è possibile constatare che, a parità di altre condizioni, il danno maggiore deriva dall'utilizzo di veicoli alimentati a benzina (12,8 µPt), seguiti dai veicoli diesel (11,2 µPt), dalle auto elettriche (8,57 µPt) ed infine da quelli a metano (1,73 µPt). La causa principale è l'elevato consumo del combustibile e per i veicoli a trazione elettrica dai processi necessari alla produzione dell'energia alla fonte e agli sprechi nel trasferimento di essa ai centri di rifornimento, parametro che è valutato all'interno del *material* Electricity LV use in Italy.

Ciascun processo è attribuito, nel calcolo, al numero effettivo di chilometri percorsi dalle auto circolanti, per tipologia veicolare, durante una giornata tipo.

Figura 52 - Confronto fra i 4 processi di automobili presenti nello Scenario 2010



4.5.3.2 I costi del carburante

Poiché esistono, e sono state modellate, vetture alimentate a combustibili diversi, è stato necessario creare 4 processi per la valutazione dei costi relativi ai carburanti utilizzati. I processi valutano il costo sostenuto da un automobilista per percorrere un chilometro di strada utilizzando una vettura alimentata con uno dei 4 tipi di combustibili previsti. La fonte da cui sono stati tratti i consumi è analoga a quella utilizzata per la determinazione delle emissioni. Nella Tabella 96 seguente sono indicati i consumi ed i costi, per litro di carburante, utilizzati:

Tabella 96 – Costi dei combustibili considerati

Combustibile	Costo (€/l)	Percorrenze (km/l) ⁹³
Benzina	1,06	10
Gasolio	0,86	13,8
Elettricità	0,18 (€/kWh)	6,1 (km/kWh)
Metano	0,66 (€/kg)	20,4 (km/kg)

I costi sono attribuiti, nel calcolo, ai chilometri complessivamente percorsi, durante la giornata tipo, dalle auto alimentate con il relativo combustibile.

4.5.3.3 I costi di utilizzo

I processi relativi ai costi di Manutenzione, Assicurazione e Bollo sono analoghi a quelli utilizzati nel calcolo dell’LCA per il 2000 e riferiti, rispettivamente, al numero di LCA considerati a seguito della razionalizzazione del traffico per il costo di manutenzione e al numero di veicoli circolanti per l’assicurazione e il bollo. Per ulteriori dettagli sui processi si cfr. Capitolo 3.4.3.3.

⁹³ Il codice utilizza come unità di misura il kg per determinare i consumi delle vetture. Poiché nella pratica, escludendo il caso del metano, i consumi sono indicati generalmente in l/km e le percorrenze in km/l, si indicano i valori di densità utilizzati per la conversione:

- Benzina: 0.72 kg/l;
- Gasolio: 0.83 kg/l;

- **Costo multe:** il processo è stato eliminato dal calcolo in quanto si ipotizza che, a seguito della riorganizzazione dei trasporti e del minor numero di veicoli in circolazione le contravvenzione per divieto di sosta siano assenti;
- **Costo del parcheggio:** si suppone di estendere la tariffazione oraria della sosta al 100% dei posti, senza variarne il numero (4.728). La tariffa viene portata a 2 € l'ora.

Si è calcolato un utilizzo medio sulla base dell'ipotesi che 25.157 veicoli (pari al 25% del totale) non effettuino alcuna sosta, 25.157 sostino per 1,5 ore (per esempio per recarsi a fare consegne), 25.157 sostino per 4 ore (per esempio per recarsi a fare acquisti) ed infine 25.157 sostino per 8 ore (chi utilizza l'automobile per recarsi al luogo di lavoro). La media ponderata vale:

$$25.157 \cdot 0 \text{ ore} + 25.157 \cdot 1,5 \text{ ore} + 25.157 \cdot 4 \text{ ore} + 25.157 \cdot 8 \text{ ore} = 3,38 \text{ ore}$$

Il costo complessivo per gli utenti è di 31.961,28 €, pari a 3,38 ore $\times$ 2 €/h e 0,38 € per veicolo.

Quest'ultimo valore è attribuito, nel calcolo, al numero di autovetture effettivamente circolanti durante una giornata tipo.

4.5.3.4 Gli incidenti ed i costi sociali

Per i processi relativi ai costi connessi agli incidenti e per la determinazione del valore statistico degli stessi, si cfr. Capitolo 3.4.3.4.

- **Costo per tempo perso in auto e Disagio guida auto:** non sono stati considerati in quanto si ipotizza che, nelle condizioni di traffico scorrevole a seguito della riorganizzazione descritta, non sussistano fenomeni di congestionamento del traffico con conseguenti disagi per gli automobilisti e perdite di tempo.

4.5.3.5 L'energia meccanica prodotta

Le tipologie di veicoli considerate presentano rendimenti e consumi differenti che è necessario valutare per la determinazione dell'energia meccanica prodotta. In particolare per i veicoli a trazione elettrica sono stati considerati sia il rendimento elettrico che quello meccanico al fine di individuare con buona approssimazione il valore dell'energia meccanica prodotta.

Per valutare i kg di combustibile necessari alla produzione di 1 kWh, si è utilizzato il processo Electricity by fuel, oil, Electricity I, che indica in 65.250 kg il petrolio necessario alla produzione di 1 milione di MJ, pari a 277.777,78 kWh. 1 kWh è, pertanto, prodotto dalla combustione di 0,2349 kg di petrolio (ipotizzando un rendimento elettrico del 37,90%). In Tabella 97 è indicato il calcolo dell'energia meccanica per il veicolo a trazione elettrica.

Tabella 97 - Energia meccanica prodotta dai veicoli a trazione elettrica

Rendimento elettrico (%)	37,90
Rendimento meccanico (%)	80
Potere calorico del petrolio (MJ/kg)	45,40
Consumo elettrico (kWh/km)	0,16
Consumo termico (kg/kWh)	0,2349
Energia meccanica (MJ/km)	$37,90\% \cdot 80\% \cdot 45,40 \text{ MJ/kg} \cdot 0,16 \text{ kWh/km} \cdot 0,2349 \text{ kg/kWh} = 0,5174$

Per i mezzi a combustione, il procedimento di calcolo è analogo a quello del Capitolo 3.4.3.5, a cui si rimanda.

Questi valori, posti negativi, sono attribuiti, nel calcolo, ai chilometri complessivamente percorsi dalle autovetture circolanti durante la giornata tipo.

4.5.3.6 Il parco autoveicolare e le percorrenze

Sulla base della distribuzione di veicoli individuata nell'introduzione al capitolo, si ipotizza che ciascun mezzo percorra una distanza pari al diametro del

cerchio equivalente all'area oggetto di studio (6,8 kmq), maggiorato del 15% per tener conto di alcun fattori come la strada necessaria a trovare parcheggio.

Secondo le ipotesi iniziali, un'autovettura nell'arco della propria vita percorre complessivamente 150.000 km; è così possibile calcolare il numero di cicli di vita necessari a modellare complessivamente le auto circolanti in un giorno feriale nell'area oggetto di studio (Tabella 98).

Tabella 98 - LCA Auto complessivi, Scenario 2010

Area oggetto di studio (kmq)	6,800
Raggio del cerchio equivalente (km)	1,425
Diametro del cerchio equivalente (km)	2,850
Diametro maggiorato del 15% (km)	3,278
Auto circolanti (n _{auto})	100.626
Km totali di vita di un'auto (km)	150.000
LCA complessivi	(100.626 auto / 150.000 km) · 3,278 km = 2,1990

4.5.4 Caratterizzazione e Valutazione di LCA Traffico Feriale Auto 2010

Di seguito vengono presentati il Product Stage relativo al ciclo di vita che modella il traffico automobilistico nell'area oggetto di studio (Tabella 99), la caratterizzazione (Tabella 100) e il calcolo complessivo dei danni generati (Tabella 101)⁹⁴.

4.5.4.1 La caratterizzazione di LCA Traffico Feriale Auto

Dall'analisi dei risultati della caratterizzazione (Tabella 100 e Figura 53) si possono trarre le seguenti conclusioni:

- Il **costo individuale totale** vale 309.000 € Su di esso incide maggiormente il costo per l'assicurazione e il bollo 195.000 €, pari al 63,18% del totale, il costo per il parcheggio 32.200 €, pari al 10,44%, il costo per la manutenzione 26.800 €, pari al

⁹⁴ Per una definizione delle unità di misura adottate in fase di caratterizzazione e valutazione, cfr. § 1.4.5.

8,69% ed infine il costo per l'acquisto delle vetture 22.500 €, pari al 7,29%. Da segnalare come il costo per il tempo perso che prima valeva 42.300 €, sia assente in quanto si è ipotizzato che, con la nuova distribuzione del traffico, il traffico sia sufficientemente fluido da escludere questo tipo di inconveniente. Inoltre il costo della benzina, in senso stretto, passa da 40.700 € a 8.940 € in quanto le auto a benzina passano dal 88% del totale al 25,5%. Infine si segnala come il costo complessivo per il carburante (gas, elettricità, gasolio o benzina che sia) rappresenta comunque il 10,34% dei costi individuali totali analogamente a quanto succedeva nella prima fase;

- Il **costo sociale** è di 1.320 €, dovuto principalmente al costo dovuto agli incidenti mortali 1.050 € e non mortali 548 €, cui si contrappone il guadagno dovuto ai processi di riciclo totale del veicolo 280 €. È importante notare come sia stato completamente eliminato il costo per il tempo perso in auto, il cui valore nella caratterizzazione della situazione del capitolo 3 era 22.700 € e che rappresentava nella prima fase il maggior costo sociale. All'assenza di tale voce di costo è conseguente al fatto che si ipotizza che con la nuova configurazione il traffico sia più scorrevole e questo non incida sulla salute del conducente.
- Il danno dovuto agli **incidenti** vale 0,0706 DALY che corrispondono a 25,77 giorni di vita persi dalle persone che in un giorno feriale entrano ed escono in auto dall'area centrale della città. A tale valore il contributo maggiore è dato dagli incidenti che hanno provocato morti 0,0677 DALY, pari ad oltre il 95% del danno totale.
- Il danno dovuto al **disagio** non è presente in quanto si ipotizza che, in queste condizioni di traffico, esso sia sufficientemente fluido da non creare disagi agli utenti della strada.

- Nella categoria di danno **Human Health**, che, se si esclude le categorie di impatto Incidenti, presenta complessivamente un danno pari a 0,0344 DALY, il danno maggiore 0,0211 DALY, è dovuto alla categoria di impatto Respiratory Inorganics. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto alle auto ad energia elettrica 0,00896 DALY a causa della emissione di 90,5 kg di SO_x e di 30,9 kg di NO_x, che rappresentano quasi il 40% del danno totale della categoria di impatto considerata (Respiratory Inorganics). Essi sono prodotti dai processi di produzione di energia elettrica necessaria alla carica delle batterie. È importante segnalare come, da un lato, venga presa in considerazione la produzione di energia elettrica italiana, valutata principalmente di origine fossile (olio combustibile e carbone), e dall'altra come il vantaggio dell'uso di una vettura elettrica risieda principalmente nella totale assenza di emissioni inquinanti nel luogo di utilizzo. Questo, però, non esclude la presenza di emissioni derivanti dalla produzione di energia elettrica necessaria al movimento dei veicoli. Un contributo notevole è dato anche dalle auto catalitiche di tipo Euro 4 0,00583 DALY e dai processi di produzione dei veicoli 0,00581 DALY. È importante segnalare inoltre come, nonostante le auto a metano rappresentino il 40% del totale, contro il 25,5% delle auto a benzina con limiti di emissione Euro 4, queste ultime generino un danno 6 volte superiore (0,0125 DALY contro 0,00203, complessivamente considerato). Questo dimostra l'efficacia di interventi come la promozione di veicoli ad alimentazione alternativa.
- Nella categoria di danno **Ecosystem Quality**, il cui danno complessivo è di 4.540 PDF·m²·y, il danno maggiore 2.090 PDF·m²·y è dovuto alla categoria di impatto Ecotoxicity. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto alla fabbricazione dell'auto, 1.430 PDF·m²·y, a causa della emissione di 454 g di Zn in aria, ai processi di combustione delle auto catalitiche, 236 PDF·m²·y, e delle auto elettriche, 345 PDF·m²·y.

- Nella categoria di danno **Resources**, il cui danno complessivo ammonta a 35.100 MJ Surplus, il danno maggiore 30.100 MJ Surplus è dovuto alla categoria di impatto Fossil Fuels. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto alle auto benzina di tipo Euro 4, 22.300 MJ Surplus, alle auto elettriche, 12.300 MJ Surplus, ai processi di produzione delle vetture, 6.730 MJ Surplus. Significativi sono anche i consumi delle auto e metano ed a gasolio di tipo Euro 4, rispettivamente 3.990 e 3.410 MJ Surplus. Il danno della categoria Resources è però attenuato dal guadagno derivante, innanzitutto, dai processi di riciclo delle vetture, che consentono un risparmio di 7.600 MJ Surplus, e anche all'energia meccanica prodotta dai motori dei veicoli che consentono di generare complessivamente 11.100 MJ Surplus; questa energia, utilizzata per il movimento, rappresenta un guadagno per il sistema, portando la categoria Resources ad un danno complessivo di 35.100 MJ Surplus.

4.5.4.2 La valutazione di LCA Traffico Feriale Auto

Dai risultati della valutazione (Tabella 101 e Figura 54, Figura 55 e Figura 56) si osserva:

- Il **danno totale** vale 3.670 Pt, dovuto per il 29,37% alle auto catalizzate con limiti Euro 4; significativi sono gli apporti al danno complessivo delle auto elettriche 23,12% e dei processi di produzione delle auto 17,52%. Da segnalare come nonostante le auto a gasolio, seppur Euro 4, rappresentino soltanto il 4,5% delle auto circolanti, esse apportino un danno che è paragonabile a quello delle auto a metano, rispettivamente 4,54% delle auto a gasolio contro 6,23% delle auto a metano. Inoltre, i guadagni derivanti dalla produzione di energia meccanica e ancor più il guadagno derivante dal processo di riciclo totale delle auto comportino una riduzione del danno complessivo di 665 Pt, ovvero quasi il 20% del danno totale.

- Il danno è dovuto principalmente alla categoria di danno Human Health (55,78% sul totale) e alla categoria di impatto Incidenti (37,35% sul totale). Escludendo questa categoria, la cui comparazione con le altre risulta problematica a seguito del diverso ambito di analisi (per gli incidenti è esclusivamente la popolazione delle città di Padova, per tutte le altre categorie Respiratory Inorganics, Climate Change, ecc., l'Europa), il danno complessivamente più elevato è dovuto alla categoria Fossil Fuels con il 27,53% sul totale dovuto principalmente alle auto a benzina Euro 4 e all'energia elettrica necessaria per il movimento delle auto ad elettricità.
- Nella categoria di danno Resources si ha, inoltre, un guadagno ambientale di – 630 Pt.

Tabella 99 – LCA Traffico Feriale Auto 2010 PD

SimaPro 5.0		Product stages	Date: 28/03/2003
Project: traffico Padova			Time: 14.58.41
Life cycle:			
Name		Comment	
+lca traffico feriale 2010 (auto) PD		Si ipotizza che le auto circolanti siano il 70% del parco circolante nel 2001 = $143752 * 70\% = 100626$ Le auto percorrono 150.000 km in 10 anni di vita L'area oggetto di studio: 6.380.000 mq (pari a 6,38 kmq) Il raggio cerchio equivalente: 1,425 km Il raggio cerchio equivalente + 15%: 1,639 km Il diametro del cerchio equivalente + 15%: 3,278 km Cicli di vita di auto totali: $(100.626 \text{ auto} / 150.000 \text{ km}) * 3,278 \text{ km} = 2,1990$	
Assembly		Amount	Unit Comment

Parte II – Capitolo 4

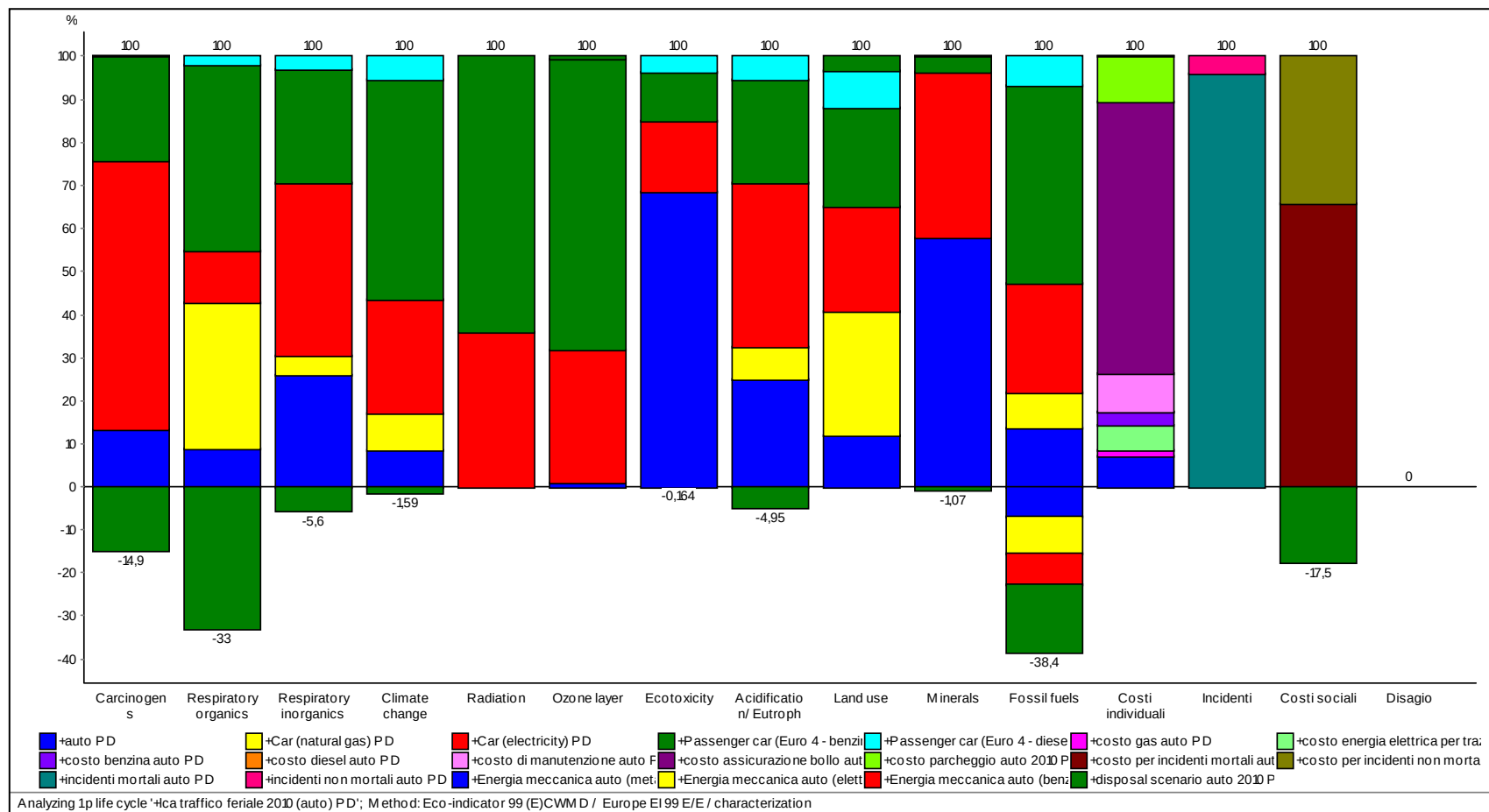
Tabella 100 - Caratterizzazione LCA Traffico Feriale Auto 2010 PD

SimaPro 5.0	LCIA Profile	Date:	28/03/2003									
Project: traffico Padova		Time:	16.43.46									
Method:	Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E											
Value:	Impact indicator											
Per impact category:	Yes											
Impact category	Unit	Total	+auto PD	+Car (natural gas) PD	+Car (electricity) PD	+Passenger car (Euro 4 - benzina) PD	+Passenger car (Euro 4 - diesel) PD	+costo gas auto PD	+costo energia elettrica per trazione auto	+costo benzina auto PD	+costo diesel auto PD	+costo di manutenzione auto PD
Carcinogens	DALY	2,30E-03	3,65E-04	x	1,68E-03	6,52E-04	1,06E-06	x	x	x	x	x
Respiratory organics	DALY	1,43E-04	1,88E-05	7,31E-05	2,53E-05	9,24E-05	4,45E-06	x	x	x	x	x
Respiratory inorganics	DALY	2,11E-02	5,81E-03	9,93E-04	8,96E-03	5,83E-03	7,07E-04	x	x	x	x	x
Climate change	DALY	1,13E-02	9,82E-04	9,68E-04	3,04E-03	5,87E-03	6,16E-04	x	x	x	x	x
Radiation	DALY	4,51E-06	x	x	1,62E-06	2,89E-06	x	x	x	x	x	x
Ozone layer	DALY	4,40E-05	5,18E-07	x	1,35E-05	2,97E-05	x	x	x	x	x	x
Ecotoxicity	PAF*m2yr	2,09E+04	1,43E+04	x	3,45E+03	2,36E+03	7,79E+02	x	x	x	x	x
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	6,80E+02	1,78E+02	5,55E+01	2,71E+02	1,73E+02	3,80E+01	x	x	x	x	x
Land use	PDF*m2yr	1,77E+03	2,15E+02	5,10E+02	4,31E+02	4,06E+02	1,52E+02	x	x	x	x	x
Minerals	MJ surplus	5,05E+03	2,95E+03	x	1,96E+03	1,90E+02	5,31E-01	x	x	x	x	x
Fossil fuels	MJ surplus	3,01E+04	6,73E+03	3,99E+03	1,23E+04	2,23E+04	3,41E+03	x	x	x	x	x
Costi individuali	euro	3,09E+05	2,25E+04	x	x	x	x	4290	17800	8940	922	26800
Incidenti	DALY	7,06E-02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Costi sociali	euro	1,32E+03	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Disagio	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabella 100 - Caratterizzazione LCA Traffico Feriale Auto 2010 PD (continua)

Impact category	Unit	+costo assicurazione bollo auto PD	+costo parcheggio auto 2010 PD	+costo per incidenti mortalì auto PD	+costo per incidenti non mortalì autobus PD	+incidenti mortalì auto PD	+incidenti non mortalì auto PD	+energia meccanica auto (metano) PD	+energia meccanica auto (elettrica) PD	+energia meccanica auto (benzina) PD	+disposal scenario auto 2010 PD
Carcinogens	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-4,01E-04
Respiratory organics	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-7,07E-05
Respiratory inorganics	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-1,25E-03
Climate change	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-1,83E-04
Radiation	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ozone layer	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2,85E-07
Ecotoxicity	PAF*m2yr	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-3,42E+01
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-3,54E+01
Land use	PDF*m2yr	x	x	x	x	x	x	x	x	x	5,95E+01
Minerals	MJ surplus	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-5,44E+01
Fossil fuels	MJ surplus	x	x	x	x	x	x	-3430	-4250	-3410	-7,60E+03
Costi individuali	euro	195000	32200	x	x	x	x	x	x	x	2,27E+02
Incidenti	DALY	x	x	x	x	0,0677	0,00283	x	x	x	x
Costi sociali	euro	x	x	1050	548	x	x	x	x	x	-2,80E+02
Disagio	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Figura 53 - Caratterizzazione LCA Traffico Feriale Auto 2010 PD



Parte II – Capitolo 4

Tabella 101 - Valutazione LCA Traffico Feriale Auto 2010 PD

SimaPro 5.0	LCIA Profile	Date:	28/03/2003									
Project: traffico Padova		Time:	16.43.46									
Method:	Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E											
Value:	Impact indicator											
Per impact category:	Yes											
Impact category	Unit	Total	+auto PD	+Car (natural gas) PD	+Car (electricity) PD	+Passenger car (Euro 4 - benzina) PD	+Passenger car (Euro 4 - diesel) PD	+costo gas auto PD	+costo energia elettrica per trazione auto	+costo benzina auto PD	+costo diesel auto PD	+costo di manutenzione auto PD
Carcinogens	DALY	2,30E-03	3,65E-04	x	1,68E-03	6,52E-04	1,06E-06	x	x	x	x	x
Respiratory organics	DALY	1,43E-04	1,88E-05	7,31E-05	2,53E-05	9,24E-05	4,45E-06	x	x	x	x	x
Respiratory inorganics	DALY	2,11E-02	5,81E-03	9,93E-04	8,96E-03	5,83E-03	7,07E-04	x	x	x	x	x
Climate change	DALY	1,13E-02	9,82E-04	9,68E-04	3,04E-03	5,87E-03	6,16E-04	x	x	x	x	x
Radiation	DALY	4,51E-06	x	x	1,62E-06	2,89E-06	x	x	x	x	x	x
Ozone layer	DALY	4,40E-05	5,18E-07	x	1,35E-05	2,97E-05	x	x	x	x	x	x
Ecotoxicity	PAF*m2yr	2,09E+04	1,43E+04	x	3,45E+03	2,36E+03	7,79E+02	x	x	x	x	x
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	6,80E+02	1,78E+02	5,55E+01	2,71E+02	1,73E+02	3,80E+01	x	x	x	x	x
Land use	PDF*m2yr	1,77E+03	2,15E+02	5,10E+02	4,31E+02	4,06E+02	1,52E+02	x	x	x	x	x
Minerals	MJ surplus	5,05E+03	2,95E+03	x	1,96E+03	1,90E+02	5,31E-01	x	x	x	x	x
Fossil fuels	MJ surplus	3,01E+04	6,73E+03	3,99E+03	1,23E+04	2,23E+04	3,41E+03	x	x	x	x	x
Costi individuali	euro	3,09E+05	2,25E+04	x	x	x	x	4290	17800	8940	922	26800
Incidenti	DALY	7,06E-02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Costi sociali	euro	1,32E+03	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Disagio	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabella 101 - Valutazione LCA Traffico Feriale Auto 2010 PD (continua)

Impact category	Unit	+costo assicurazione bollo auto PD	+costo parcheggio auto 2010 PD	+costo per incidenti mortal auto PD	+costo per incidenti non mortal autobus PD	+incidenti mortal auto PD	+incidenti non mortal auto PD	+energia meccanica auto (metano) PD	+energia meccanica auto (elettrica) PD	+energia meccanica auto (benzina) PD	+disposal scenario auto 2010 PD
Carcinogens	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-4,01E-04
Respiratory organics	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-7,07E-05
Respiratory inorganics	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-1,25E-03
Climate change	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-1,83E-04
Radiation	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ozone layer	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2,85E-07
Ecotoxicity	PAF*m2yr	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-3,42E+01
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-3,54E+01
Land use	PDF*m2yr	x	x	x	x	x	x	x	x	x	5,95E+01
Minerals	MJ surplus	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-5,44E+01
Fossil fuels	MJ surplus	x	x	x	x	x	x	-3430	-4250	-3410	-7,60E+03
Costi individuali	euro	195000	32200	x	x	x	x	x	x	x	2,27E+02
Incidenti	DALY	x	x	x	x	0,0677	0,00283	x	x	x	x
Costi sociali	euro	x	x	1050	548	x	x	x	x	x	-2,80E+02
Disagio	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Figura 54 - Valutazione LCA Traffico Feriale Auto 2010 PD

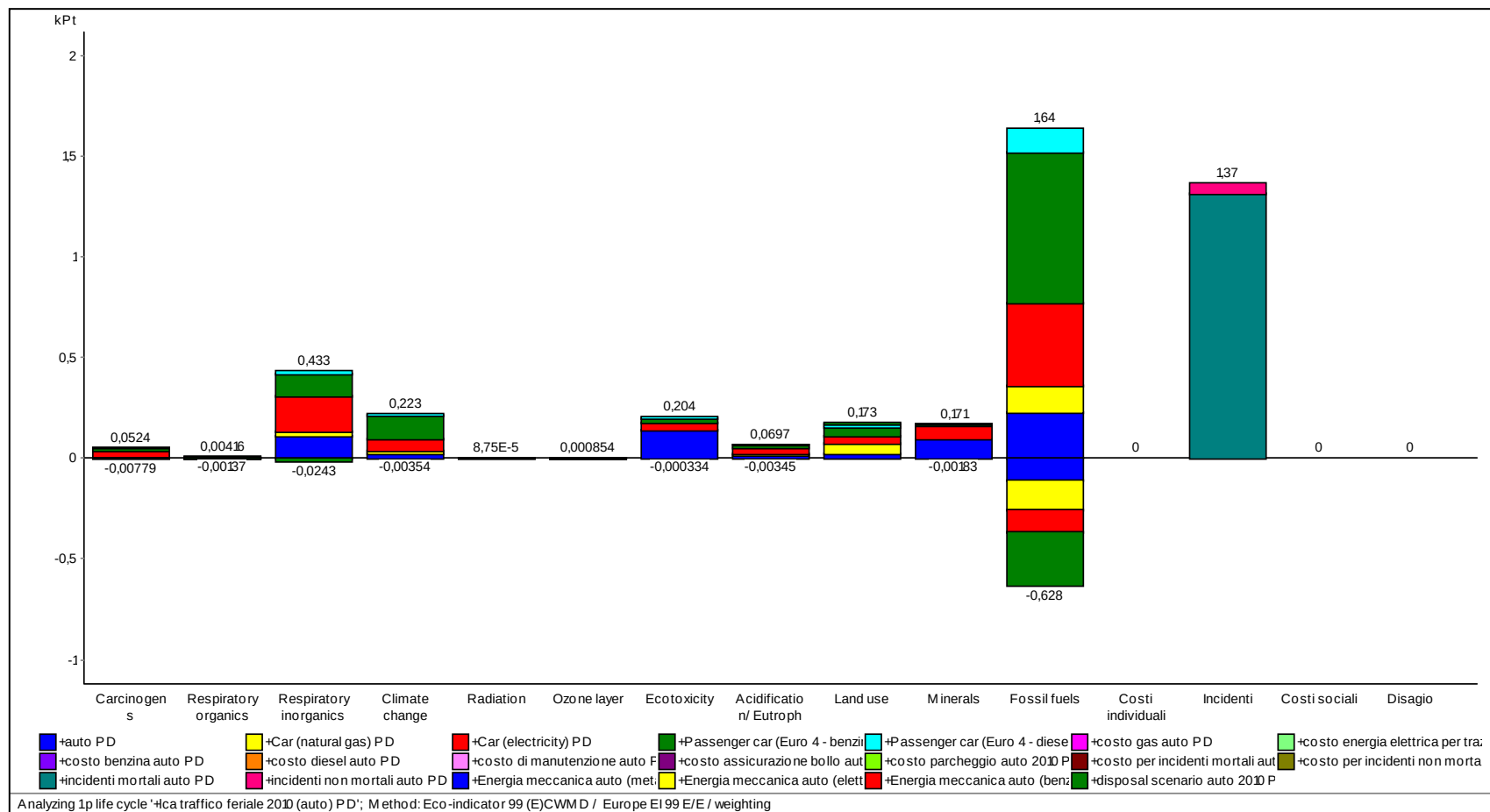


Figura 55 - Valutazione LCA Traffico Feriale Auto 2010 PD, per categoria di Danno

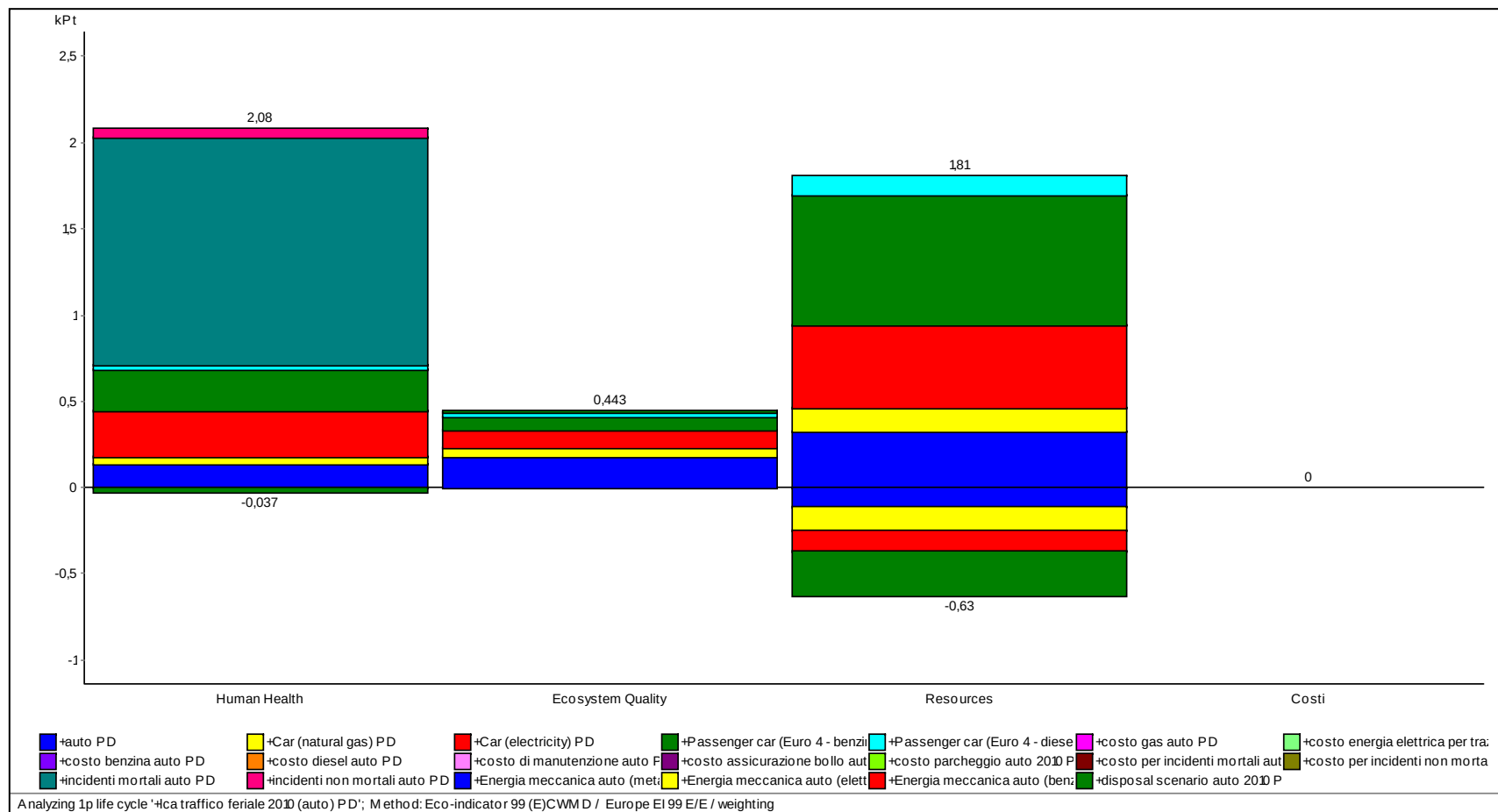
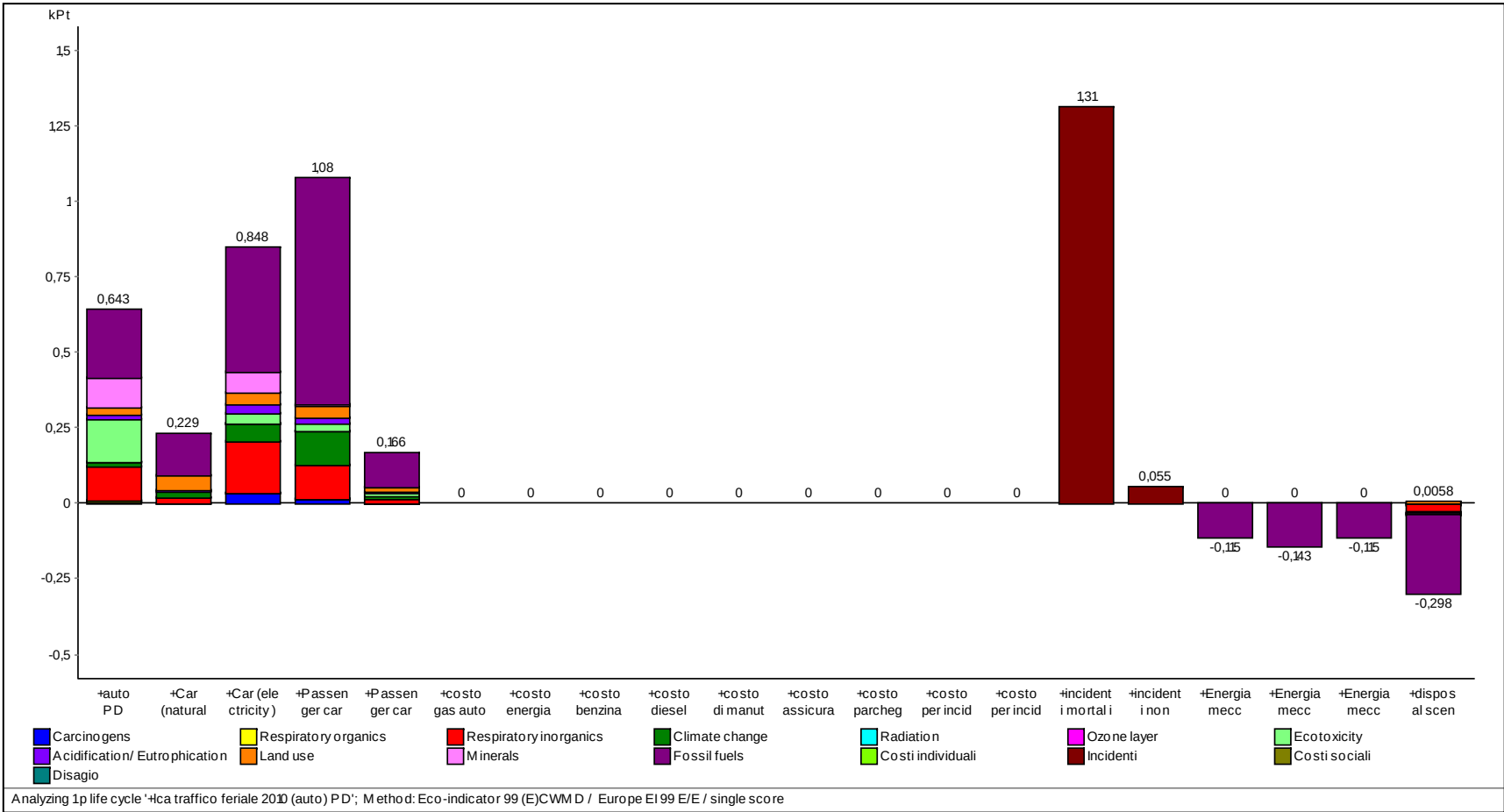


Figura 56 - Valutazione LCA Traffico Feriale Auto 2010 PD, in base alle Componenti



4.6 LCA del traffico feriale dei motoveicoli, Scenario 2010

4.6.1 Introduzione

Il numero di motoveicoli circolanti utilizzato per il calcolo dell'LCA per il 2000 è pari a 18.430. In base alle ipotesi citate nell'introduzione, si ipotizza che nel 2010 questo valore sia pari a 12.901, a seguito di politiche di limitazione del traffico e di incentivi all'utilizzo di mezzi di trasporto alternativi.

Si ipotizza che la tecnologia utilizzata sia quella descritta nel capitolo 2.4.4, rappresentata dall'adozione di un motore ad iniezione diretta che consente riduzioni di consumo e di emissioni inquinanti.

Questa nuova tecnologia è già in produzione da alcuni anni e rappresenta per il settore dei veicoli a due ruote un sviluppo considerevole verso gli obiettivi di mobilità sostenibile.

In base alla redistribuzione da noi effettuata, si ottiene non soltanto una riduzione del numero dei veicoli circolanti, 12.901 contro i previsti 21.195, ma anche una riduzione significativa dell'impatto ad essi collegato poiché sono introdotti mezzi maggiormente rispettosi dell'ambiente.

4.6.2 Assembly dello scooter

Benché si consideri un modello diverso di ciclomotore, esso presenta le stesse caratteristiche strutturali del veicolo considerato nell'LCA della caratterizzazione iniziale.

A seguito delle innovazioni tecnologiche introdotte, però, il mezzo ha un prezzo diverso e precisamente paria 2.260, valore sostituito nell'*assembly* qui utilizzato. Per le considerazioni sull'*assembly* dello scooter, si cfr. Capitolo 3.5.2

4.6.3 Caratteristiche del traffico ciclomotoristico

4.6.3.1 La combustione e le emissioni

È stato creato il processo *transport road Scooter Aprilia SR 50 DITECH* nel quale si considerano come input i consumi di benzina e di olio e come output le emissioni

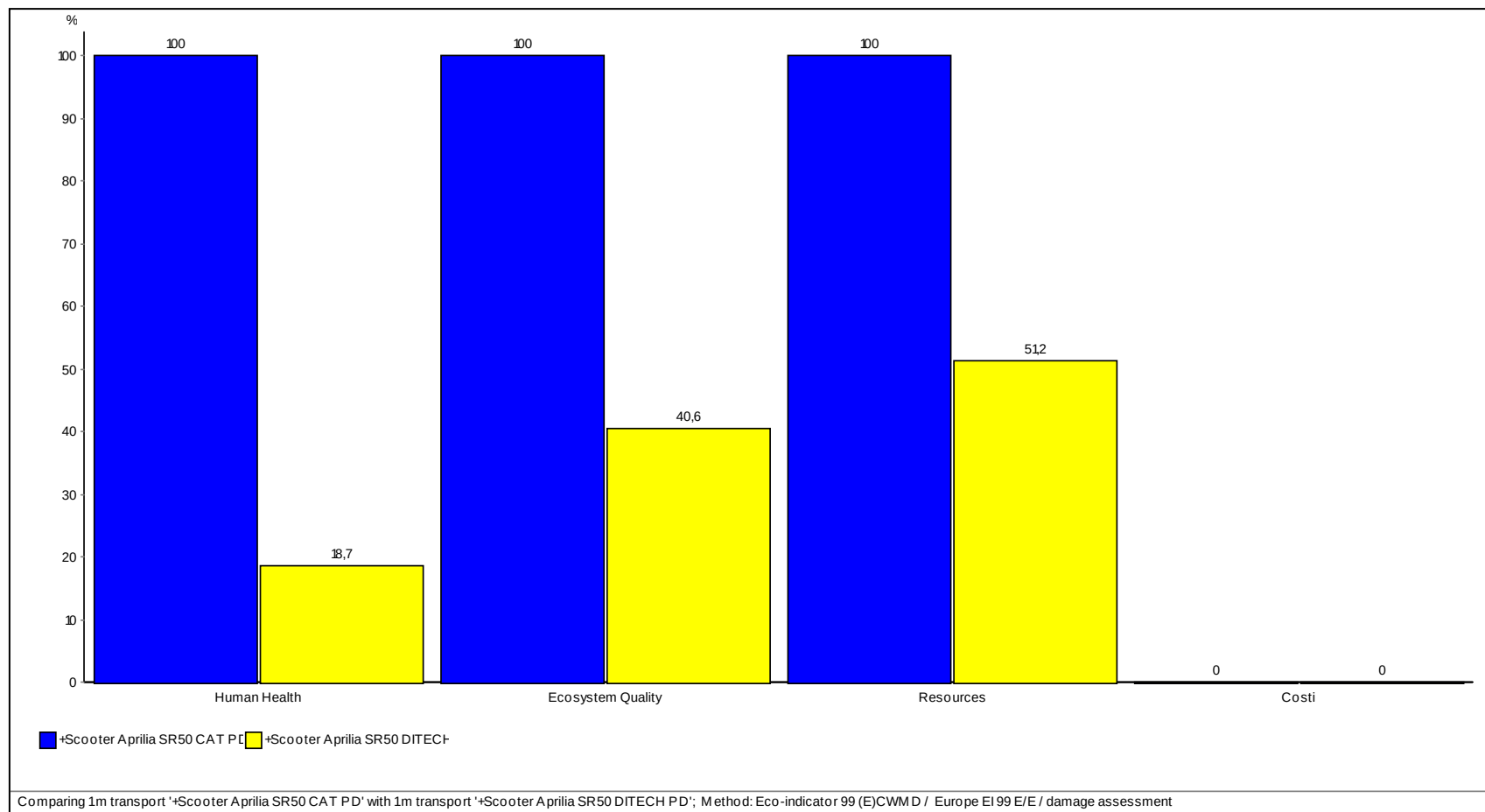
dovute alla combustione, fornite dalla casa. Lo scooter, secondo le indicazioni della casa costruttrice, percorre 50 km/l con un consumo di 35 cc di olio ogni 100 km. In Tabella 102 è indicato il processo Scooter Aprilia SR 50 DITECH.

Tabella 102 - Processo Scooter Aprilia SR 50 DITECH

SimaPro 5.0		Processes		Date: 28/03/2003	
Project: traffico Padova				Time: 12.20.40	
Process					
Materials/fuels					
Petrol I	0,0144	0	0	kg	Percorrenze: peso specifico benzina senza piombo 0,72kg/l percorrenze (km/l): 50 km/l percorrenze (km/kg): 69,444 km/kg Consumo (kg/km): 0,0144 kg/km
Crude oil N-sea(a) I	0,28175	0	0	g	peso specifico petrolio 0,805kg/l=g/cm3 35cc/100km
Emissions to air					
CO	2,7	0	0	g	2.7 g/km dal grafico dell'Aprilia calcolato con mco2/mcomb=44/(12+m/n) dove m=15.4 n=7.5 da Moped I: (0,0144*0,0003/0,0166)kgCH4/kg benzina rapporto HC/NOx come il motore a 4 tempi: HC=39% e NOx=61%. Totale 1.88g/km dal diagramma Aprilia.(Euro 1).61%*1.88=0.15g/km 39%*1.88g/km=0.73g/km
CO2	0,04468	0	0	kg	
methane	0,0002602	0	0	kg	
NOx	0,15	0	0	g	
CxHy	0,73	0	0	g	
Non material emission					
Occup. as rail/road area	0,0046	0	0	m2a	per 1 auto vale 0,046, riduciamo di un fattore 10 (come si è fatto per il numero delle moto rispetto al numero delle auto)
Products					
+Scooter Aprilia SR50 DITECH PD	1	0	0	km	1 - Road - Fonte: Aprilia

In Figura 57 sono confrontate le emissioni dei ciclomotori utilizzati nei due LCA. Si può constatare come le prestazioni, in termini minor impatto ambientale, del veicolo utilizzato nelle ipotesi per il 2010 siano da quasi il 50% (categoria di danno Resources) ad oltre 80% (categoria di danno Human Health) inferiori.

Figura 57 - Confronto tra i processi Scooter Aprilia SR 50 CAT e Scooter Aprilia SR 50 Ditech presenti nello Scenario 2010



Il processo è attribuito, nel calcolo, al numero effettivo di chilometri percorsi dai motoveicoli circolanti durante una giornata tipo.

4.6.3.2 I costi del carburante

Un ciclomotore sfrutta per il proprio movimento una miscela costituita da carburante (generalmente benzina) ed olio motore, necessario alla lubrificazione delle componenti meccaniche. Poiché queste due componenti devono essere valutate in modo separato nella determinazione del consumo specifico, è stato creato un processo, denominato costo benzina olio scooter DITECH, con lo scopo di quantificare i costi connessi ad entrambi i fattori per ogni chilometro percorso in ambito urbano.

Il ciclomotore preso a modello ha, secondo le indicazioni della casa costruttrice, un consumo specifico di carburante di 0,02 l/km (pari a percorrenze medie di 50 km/l) ed un consumo specifico di olio motore di 35 cc/100 km. In Tabella 103 sono evidenziati i costi utilizzati nel calcolo.

Tabella 103 – Costi della miscela considerata

Combustibile	Costo (€/l)	Percorrenze (km/l)
Benzina senza piombo	1,06	50
Olio motore	7,74	35 (cc/100 km)

I costi sono attribuiti, nel calcolo, ai chilometri complessivamente percorsi.

4.6.3.3 I costi di utilizzo

I processi relativi ai costi di Manutenzione, Revisione, Assicurazione e Bollo sono analoghi a quelli utilizzati nel calcolo dell'LCA per il 2000 e sono riferiti, rispettivamente, al numero di LCA considerati a seguito della razionalizzazione del traffico, per la manutenzione, e al numero di ciclomotori circolanti per revisione e assicurazione/bollo. Per ulteriori dettagli sui processi si cfr. Capitolo 3.5.3.3

4.6.3.4 Gli incidenti ed i costi sociali

Per i processi relativi ai costi connessi agli incidenti e per la determinazione del valore statistico degli stessi, si cfr. Capitolo 3.5.3.4.

4.6.3.5 L'energia meccanica prodotta

Il veicolo assunto come modello ha un rendimento maggiore rispetto a quello utilizzato nella valutazione iniziale, a seguito della miglior tecnologia utilizzata. In particolare, rispetto al 13,34%, presenta un rendimento del 23% ed un consumo di 0,00144 kg di combustibile al km. Il potere calorico della benzina è posto pari a 45,8 MJ/kg. In Tabella 104 è esplicitato il calcolo dell'energia meccanica guadagnata da ogni automobile del sistema considerato per ogni km percorso⁹⁵.

Questo valore, posto negativo, è attribuito, nel calcolo, ai chilometri complessivamente percorsi da tutti i ciclomotori circolanti durante la giornata tipo.

Tabella 104 - Energia meccanica prodotta dalla combustione

Rendimento considerato (%)	23%
Potere calorico della benzina (MJ/kg)	45,80
Consumo (kg/km)	0,0144
Percorrenza (km/kg)	69,44
Energia meccanica (MJ/km)	$23 \% \cdot 45,80 \text{ MJ/kg} \cdot 0,0144 \text{ kg/km} = 0,1517$

4.6.3.6 Il parco veicolare e le percorrenze

Il numero di ciclomotori considerato è pari a 12.901 e, secondo le ipotesi iniziali, nell'arco della propria vita ciascuno di essi percorre complessivamente 30.000 km; è, pertanto, possibile calcolare il numero di cicli di vita necessari a modellare complessivamente i veicoli a due ruote circolanti in un giorno feriale nell'area oggetto di studio (Tabella 105).

⁹⁵ Per una breve descrizione del processo legato all'energia meccanica prodotta, cfr. § 3.4.3.5.

Tabella 105 - LCA Scooter complessivi, Scenario 2010

Area oggetto di studio (kmq)	6,800
Raggio del cerchio equivalente (km)	1,425
Diametro del cerchio equivalente (km)	2,850
Moto circolanti (n _{moto})	12.901
Km totali di vita di uno scooter (km)	30.000
LCA complessivi	(12.901 auto / 30.000 km) · 2,850 km = 1,225595

4.6.4 Caratterizzazione e Valutazione di LCA Traffico Feriale Scooter 2010

Di seguito vengono presentati il Product Stage relativo al ciclo di vita che modella il traffico ciclomotoristico nell'area oggetto di studio (Tabella 106), la caratterizzazione (Tabella 107) e il calcolo complessivo dei danni generati (Tabella 108)⁹⁶.

4.6.4.1 La caratterizzazione di LCA Traffico Feriale Scooter

Dall'analisi dei risultati della caratterizzazione (Tabella 107 e Figura 58) si possono trarre le seguenti conclusioni:

- Il **costo individuale totale** vale 14.300 € ed è rappresentato per oltre il 65% (9.290 €) dai costi amministrativi connessi con la tassa di proprietà e gli oneri assicurativi. Un'incidenza rilevante è dovuta anche al costo di acquisto per il veicolo (19.42% pari a 2.770 €), in quanto esso è leggermente più costoso del veicolo utilizzato nella prima fase dello studio. Da segnalare come i costi per il carburante e quelli per la manutenzione (ordinaria e straordinaria) siano dello stesso ordine di grandezza, rispettivamente 881 e 1.000€;
- Il **costo sociale** è di 2.750 €. La maggior parte è connesso ai costi sostenuti dal servizio Sanitario Nazionale per gli incidenti non mortali (81.8% pari a 2.250 €);

⁹⁶ Per una definizione delle unità di misura adottate in fase di caratterizzazione e valutazione, cfr. § 1.4.5.

- Il danno dovuto agli **incidenti** vale 0,0399, che corrisponde a 14,6 giorni di vita persi dalle persone che in un giorno feriale usufruiscono dei mezzi di trasporto pubblico per accedere all'area cordonale di Padova. Il danno è esclusivamente imputabile per oltre 83%, pari a 0,0333 DALY, agli incidenti mortali;
- Nella categoria di danno **Human Health** (il cui danno totale è pari a 0,014 DALY escludendo gli impatti dovuti agli incidenti) il danno maggiore 0,00084 DALY è dovuto alla categoria di impatto Respiratory Inorganics. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto ai processi di combustione e relative emissioni del veicolo (0,00076 DALY), a causa della emissione di 7,16 kg di NO_x prodotto dai processi di combustione. Da sottolineare come i processi di riciclo consentano un guadagno paragonabile ai danni dovuti ai processi di produzione dei veicoli; si ha infatti che i secondi generano un danno complessivo di 0,000681 DALY, mentre i primi generano un guadagno di 0,000486 DALY;
- Nella categoria di danno **Ecosystem Quality**, il danno complessivo è di 323 PDF·m²·y. Il danno maggiore, 112 PDF·m²·y, è dovuto alla categoria di impatto Ecotoxicity. Il contributo, pressochè totale, è dovuto ai processi di produzione del veicolo;
- Nella categoria di danno **Resources** (1.890 MJ Surplus), il danno maggiore, 1.820 MJ Surplus, è dovuto alla categoria di impatto Fossil Fuels. Si noti come i processi di riciclo e quelli connessi alla produzione di energia meccanica comportino un guadagno di energia che è superiore a quello necessario alla produzione dei veicoli. Si ha infatti che la produzione comporta un consumo di 708 MJ Surplus mentre il guadagno o risparmio connesso all'energia meccanica ed ai processi di riciclo, complessivamente danno -964 MJ Surplus.

4.6.4.2 La valutazione di LCA Traffico Feriale Scooter

Dall'analisi della valutazione (Tabella 108 e Figura 59, Figura 60 e Figura 61) è possibile trarre alcune considerazioni:

- Il **danno totale** vale 897 Pt, dovuti per l'86,38% agli incidenti mortali e non mortali, rispettivamente 71,94% e 14,44%. E' significativo come l'apporto al danno complessivo degli incidenti non mortali e delle emissioni sia confrontabile, rispettivamente 130 Pt e 112 Pt, anche se deriva da ambiti di impatto non del tutto confrontabili in quanto gli incidenti incidono esclusivamente sulla categoria Human Health mentre le emissioni incidono per il 62,62% sulla categoria Resources, per il 21,12% su Human Health e per il 16,26% sulla categoria Ecosystem Quality;
- Escludendo il danno dovuto alla categoria incidenti, si nota come la seconda categoria più significativa sia Fossil Fuels con 61,3 Pt;
- Complessivamente sul totale di quasi 900 Pt, si ha un guadagno di 44,7 Pt che consentono di arrivare appunto al valore di 897. Essi derivano per il 65% dai processi di riciclo, cui è sottoposto il veicolo, e per il restante 35% dall'energia meccanica prodotta dai processi di combustione.

Tabella 106 – LCA Traffico Feriale Scooter 2010 PD

SimaPro 5.0		Product stages	Date:	28/03/2003
Project: traffico Padova			Time:	14.58.54
Life cycle:				
Name		Comment		
+lca traffico feriale 2010 (scooter) PD		Moto circolanti: 12901 (pari al 70% delle moto circolanti nel 2000) ciclomotore modello: scooter SR 50 DITECH area oggetto di studio: 6.380.000 mq (pari a 6,38 kmq) raggio cerchio equivalente: 1,425 km diametro cerchio equivalente: 2,850 km Cicli di vita di moto totali: (12.901 moto/ 30.000 km) * 2,850 km = 1,225595		
Assembly		Amount	Unit	Comment
+scooter SR 50 DITECH PD		1,225595	p	Numero di cicli di vita di motoveicoli a Padova in 1 giornata tipo: (12901 moto / 30.000 km) * 2,850 km = 1,225595 motoveicoli
Processes		Amount	Unit	Comment
+scooter Aprilia SR50 DITECH PD		36767,85	km	12901 * 2,850 km = 36767,85 (km percorsi complessivamente da veicoli a 2 ruote)
+costo benzina olio scooter DITECH PD		36767,85	km	12901 * 2,850 km = 36767,85 (km per i quali calcolare il costo della benzina)
+costo assicurazione bollo scooter PD		12901	p	18.430 (pari al numero di moto circolanti)
+costo revisione scooter PD		12901	p	18.430 (pari al numero di moto circolanti)
+costo di manutenzione scooter PD		1,225595	p	(12901 moto / 30.000 km) * 2,850 km = 1,225595 motoveicoli (numero di moto per le quali valutare il costo di manutenzione)
+costo per incidenti mortali scooter PD		1,225595	p	(12901 moto / 30.000 km) * 2,850 km = 1,225595 motoveicoli (numero di moto per le quali valutare il costo per incidenti mortali)
+costo per incidenti non mortali scooter PD		1,225595	p	(12901 moto / 30.000 km) * 2,850 km = 1,225595 motoveicoli (numero di moto per le quali valutare il costo per incidenti non mortali)
+incidenti mortali scooter PD		1,225595	p	(12901 moto / 30.000 km) * 2,850 km = 1,225595 (numero di moto per le quali valutare il numero di incidenti mortali)
+incidenti non mortali scooter PD		1,225595	p	(12901 moto / 30.000 km) * 2,850 km = 1,225595 (numero di moto per le quali valutare il numero di incidenti non mortali)
+Energia meccanica scooter SR50 DITECH PD		36767,85	km	12901 * 2,850 km = 36767,85 (km per i quali calcolare il guadagno a seguito della produzione dell'energia meccanica)
Waste/Disposal scenario		Comment		
+disposal scenario scooter SR 50 DITECH PD				

Parte II – Capitolo 4

Tabella 107 - Caratterizzazione LCA Traffico Feriale Scooter 2010 PD

SimaPro 5.0	LCIA Profile	Date:	28/03/2003												
Project: traffico Padova		Time:	16.57.36												
Method:	Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E														
Value:	Impact indicator														
Per impact category:	Yes														
Impact category	Unit	Total	+scooter SR 50 DITECH PD	+scooter Aprilia SR50 DITECH PD	+costo benzina olio scooter DITECH PD	+costo assicurazione bollo scooter PD	+costo revisione scooter PD	+costo di manutenzione scooter PD	+costo per incidenti mortal scooter PD	+costo per incidenti non mortal scooter PD	+incidenti mortal scooter PD	+incidenti non mortal scooter PD	+Energia meccanica scooter SR50 DITECH PD	+disposal scenario scooter SR 50 DITECH PD	
Carcinogens	DALY	3,92E-05	5,13E-05	2,48E-08	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,0000121	
Respiratory organics	DALY	3,52E-05	1,92E-06	3,65E-05	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,00000328	
Respiratory inorganics	DALY	8,40E-04	4,94E-04	7,60E-04	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,000414	
Climate change	DALY	4,95E-04	1,34E-04	4,17E-04	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,000056	
Radiation	DALY	1,50E-08	1,50E-08	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Ozone layer	DALY	5,04E-08	3,28E-08	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1,76E-08	
Ecotoxicity	PAF*m2yr	1,12E+03	1,11E+03	2,08E-03	x	x	x	x	x	x	x	x	x	3,52	
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	4,68E+01	1,56E+01	4,15E+01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-10,3	
Land use	PDF*m2yr	1,65E+02	1,63E+01	1,45E+02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	3,68	
Minerals	MJ surplus	6,12E+01	1,26E+02	1,71E-01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-65,2	
Fossil fuels	MJ surplus	1,82E+03	7,08E+02	2,08E+03	x	x	x	x	x	x	x	x	-463	-501	
Costi individuali	euro	1,43E+04	2,77E+03	x	8,81E+02	9,29E+03	2,58E+02	1000	x	x	x	x	x	63,3	
Incidenti	DALY	3,99E-02	x	x	x	x	x	x	x	x	0,0333	0,00667	x	x	
Costi sociali	euro	2,75E+03	x	x	x	x	x	x	515	2250	x	x	x	-15,1	
Disagio	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

Figura 58 - Caratterizzazione LCA Traffico Feriale Scooter 2010 PD

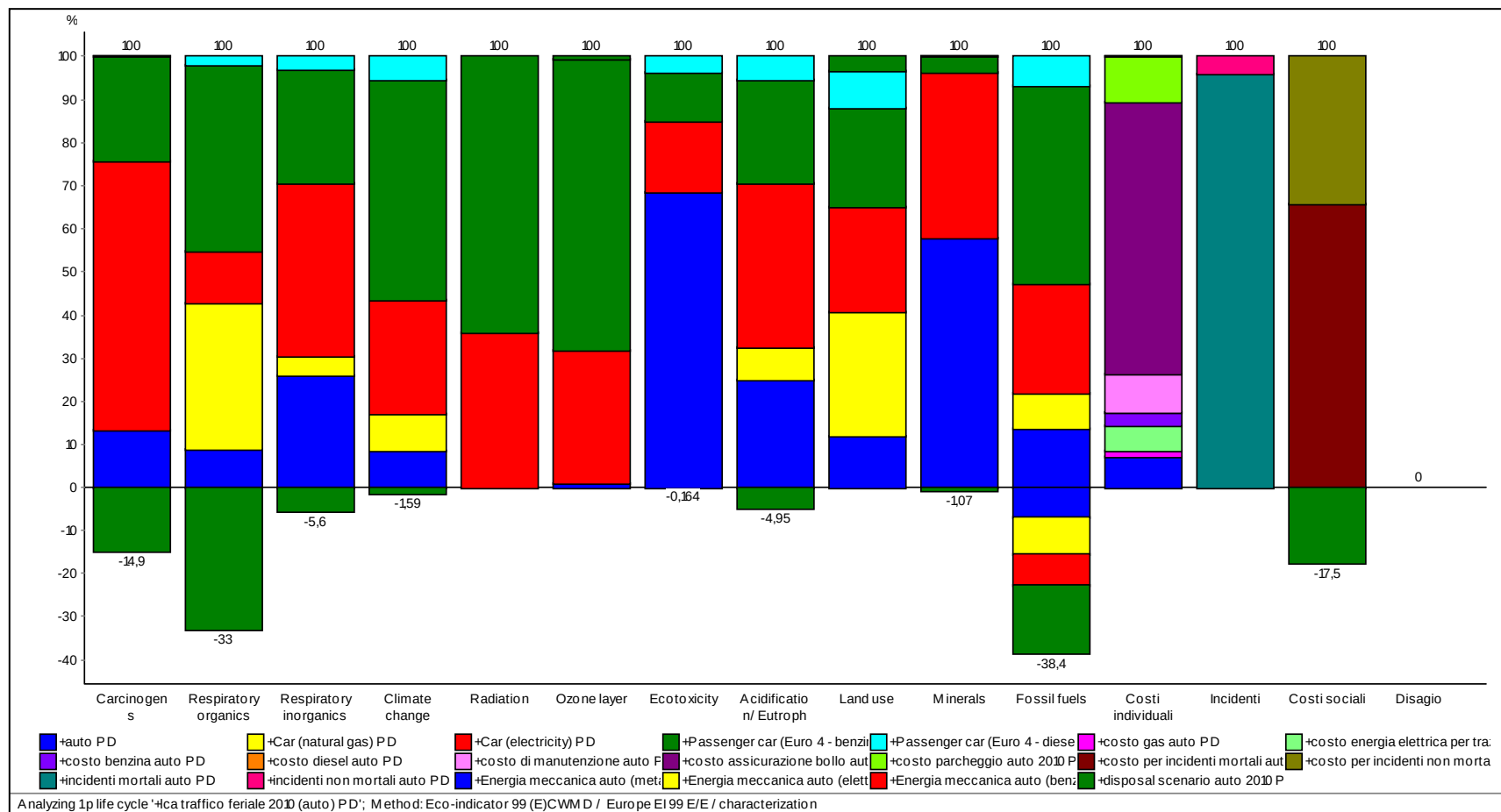


Figura 59 - Valutazione LCA Traffico Feriale Scooter 2010 PD

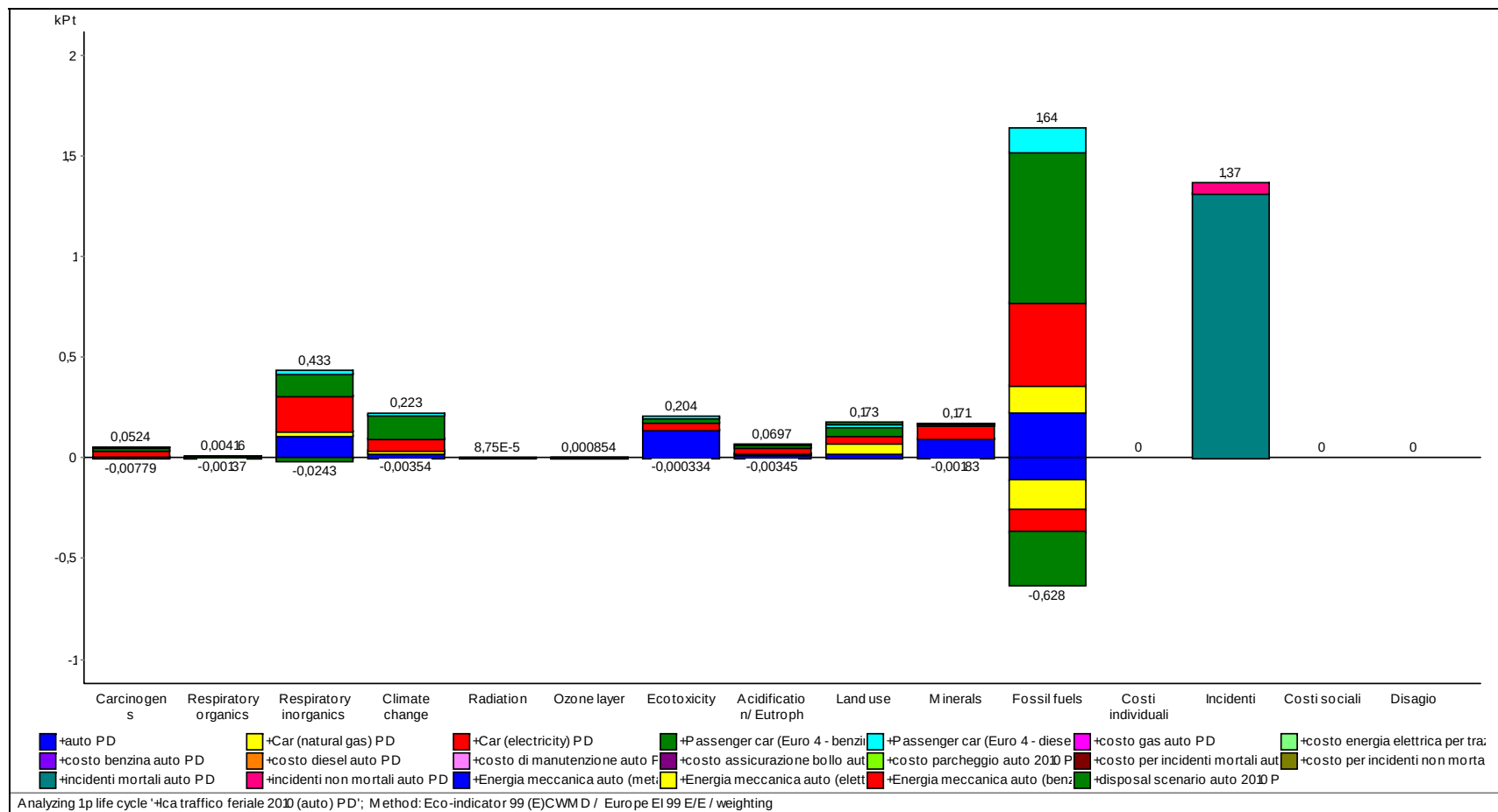


Figura 60 - Valutazione LCA Traffico Feriale Scooter 2010 PD, per categoria di Danno

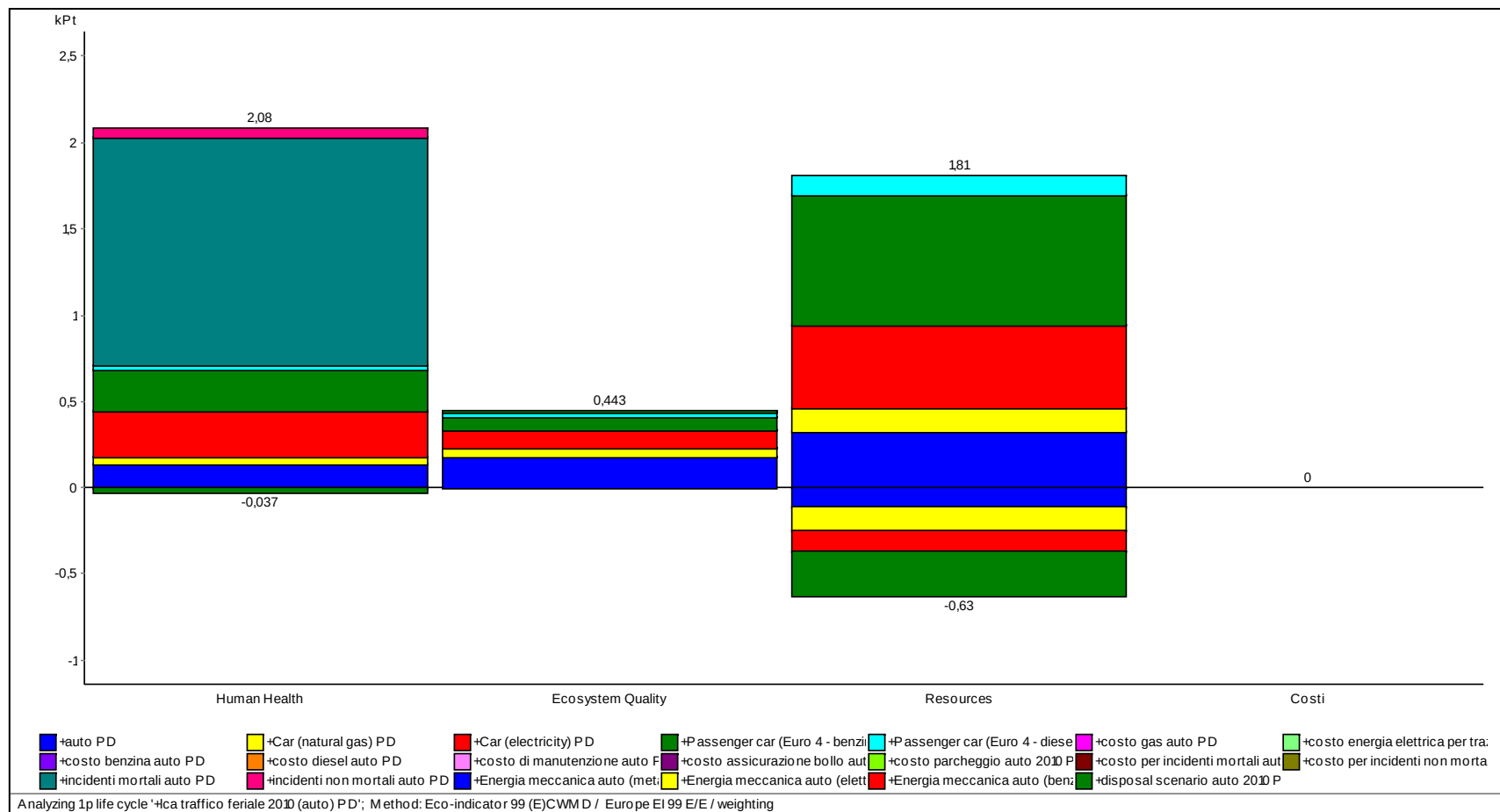
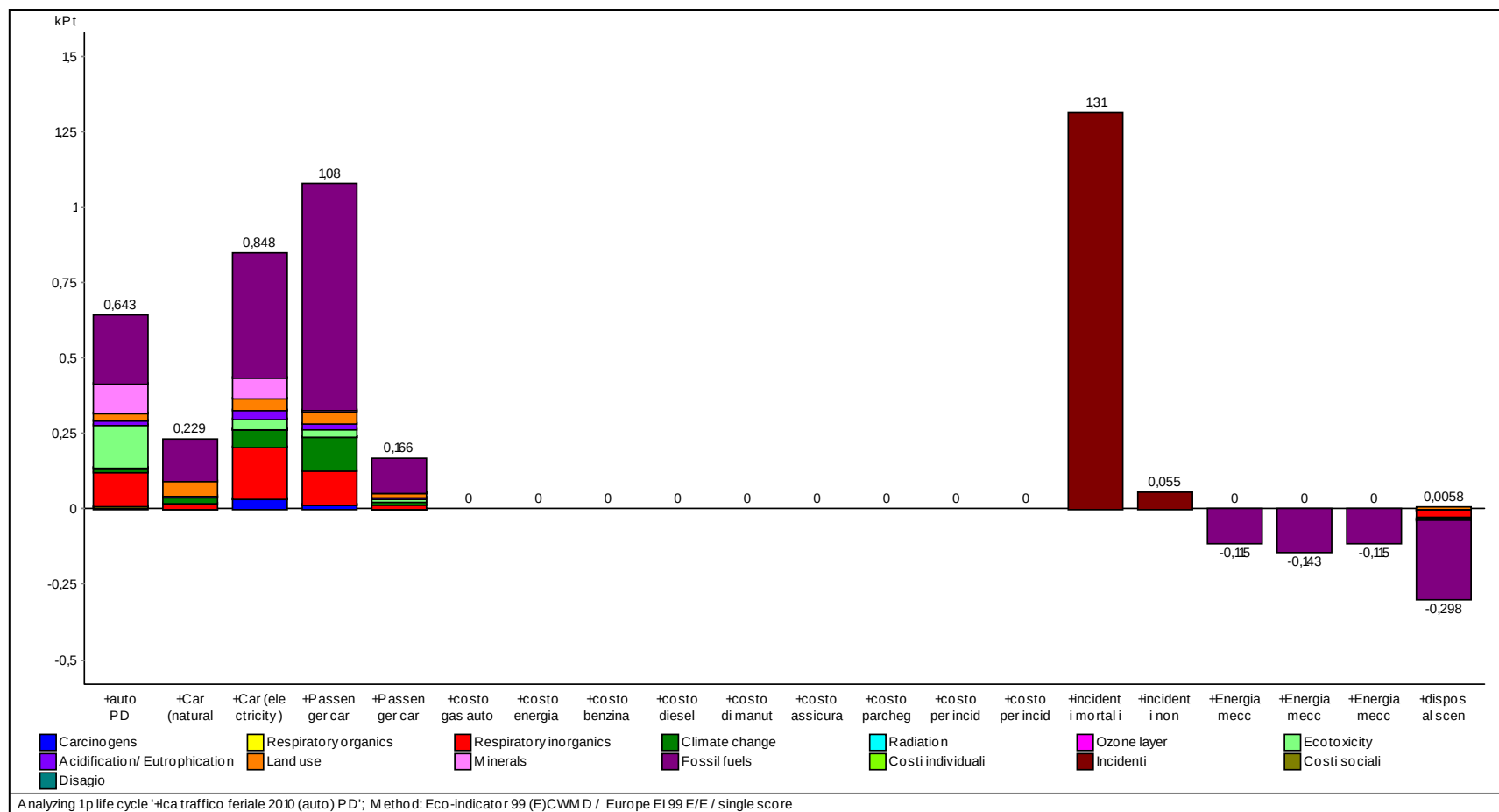


Figura 61 - Valutazione LCA Traffico Feriale Scooter 2010 PD, in base alle Componenti



4.7 LCA del traffico feriale dei veicoli commerciali leggeri, Scenario 2010

4.7.1 Introduzione

Il numero di veicoli commerciali leggeri circolanti utilizzato per il calcolo dell'LCA per il 2000 è pari a 13.885. In base alle ipotesi citate nell'introduzione, si ipotizza che nel 2010, il numero di furgoni effettivamente circolanti sia pari a 9.720. Si ipotizza che il sistema aumenti la propria efficienza di trasporto grazie allo sviluppo dei sistemi di logistica integrata, ottimizzando l'utilizzo della capacità di carico e razionalizzando i percorsi di consegna, con un incremento ipotizzato dei chilometri percorsi del 30%. Inoltre, si ipotizza che l'attuale parco veicoli, esclusivamente alimentati a gasolio, venga sostituito introducendo per il 50% dei mezzi l'innovazione del gas naturale e per il restante 50% la conformità ai limiti previsti dalla normativa europea attualmente più restrittiva (Euro 4).

4.7.2 Assembly dello furgone

Per le considerazioni sull'*assembly* del furgone, si confronti il Capitolo 3.6.2.

4.7.3 Caratteristiche del traffico dei veicoli commerciali leggeri

4.7.3.1 La combustione e le emissioni

Come anticipato nell'introduzione, è stato ipotizzato di variare la distribuzione dei veicoli relativamente al combustibile utilizzato. In particolare, 4.860 (il 50%) furgoni sono alimentati a gas naturale; il restante 50% rispetta la normativa Euro 4 in materia di emissioni in atmosfera prodotte da veicoli a motore.

- **Furgone (Gas):** è il processo per la modellazione dei veicoli alimentati a gas naturale. I dati utilizzati sono stati tratti da un produttore di questo tipo di veicoli (Landi Renzo). Il consumo indicato è 8,55 l/100 km⁹⁷, pari a 0,01495

⁹⁷ La pressione utilizzata nei serbatoi di stoccaggio del metano installati sulle vetture è di 200 bar che conferisce al gas una densità di 0,175 kg/dm³.

kg/km. In Tabella 109 è presentato il processo Furgone (Gas) con le relative emissioni, come indicate dalla casa costruttrice;

Tabella 109 - Processo Furgone (Gas)

SimaPro 5.0	Processes	Date:	28/03/2003		
Project: traffico Padova		Time:	12.20.29		
Process					
Category type	Transport				
Process identifier	eneaXXX09190400293				
Comment	- dati Landi Renzo per i dati di emissione (esclusa la CO2) e consumo.				
Materials/fuels					
Natural gas B	0,01495	0	0	kg	-consumo di metano di un furgone nel ciclo urbano: 11.7 km/l (Dati Landi Renzo(RE)) = 0.08547l/km*0.175kg/l=0.01495kg/km o 66.8572 km/kg
Emissions to air					
NOx	0,2574	0	0	g	Dati Landi Renzo(RE)per il gas G20 0.022gr/km
CO2	41,1125	0	0	g	mco2/mcomb=44/(12+m/n) m=4, n=1 0.01495kg/km*2.75=0.0411125 kg/km
CO	3,978	0	0	g	Dati Landi Renzo(RE)per il gas G20 0.340g/km
CxHy	1,0764	0	0	g	Dati Landi Renzo(RE)per il gas G20 HC 0.092g/km
Non material emission					
Occup. as rail/road area	380	0	0	cm2a	da Delivery van I
Products					
+furgone (gas) PD	1	0	0	km	1 - Road - peso specifico del metano a 200 bar: 0.175 kg/dm3 -consumo: 11.7km/l (dato Landi per auto)

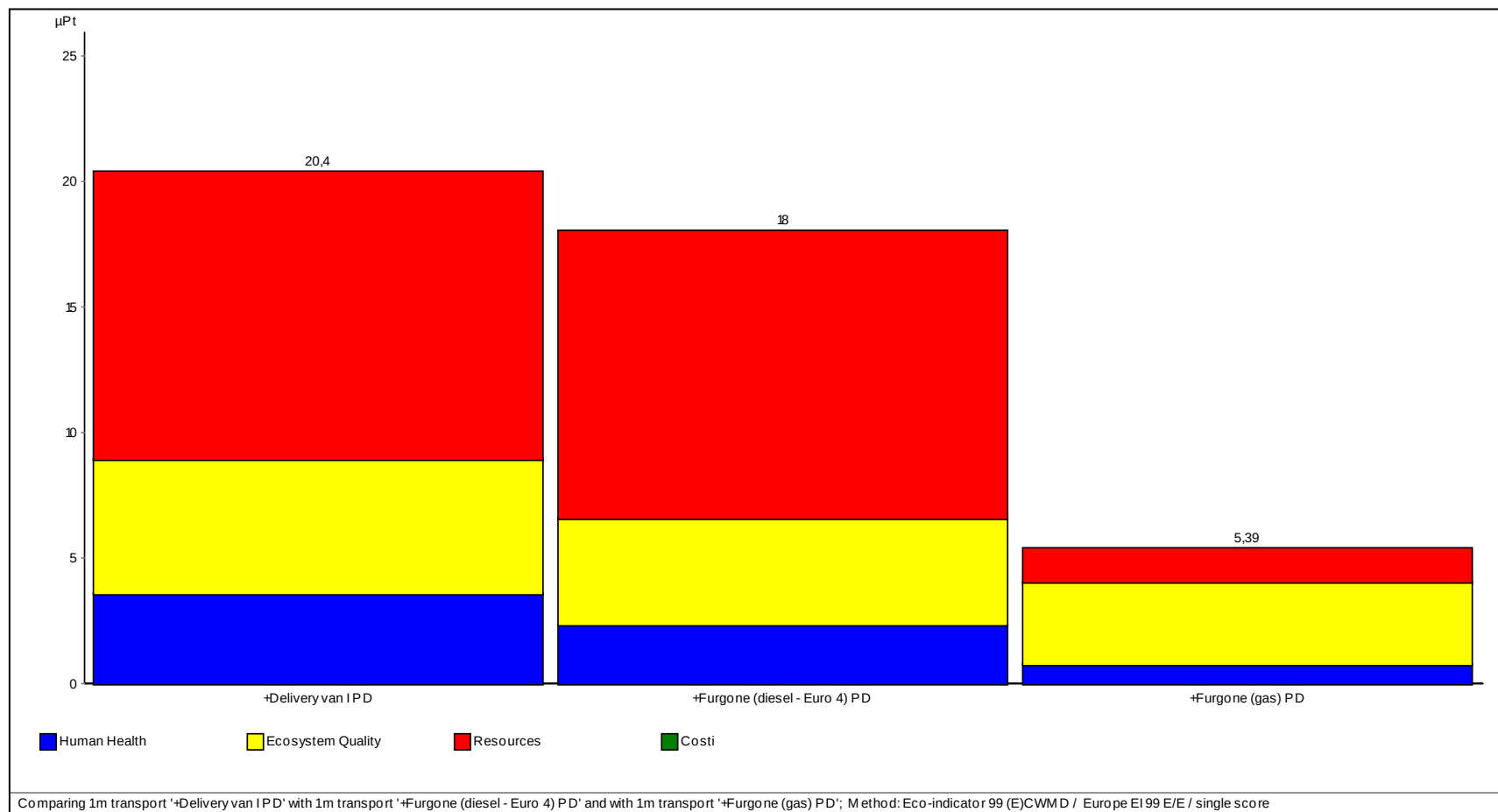
- **Furgone (diesel - Euro 4):** è il processo per la modellazione dei veicoli alimentati a gasolio. È stato modificato il processo utilizzato nel LCA della caratterizzazione iniziale (Delivery Van I), aggiornando i parametri previsti dalla normativa Euro 4, secondo le prescrizioni in essa contenute. Quando non previsti dalla normativa, i valori sono stati ridotti della metà in quanto le disposizioni della normativa Euro 4 indicano fattori di riduzione di circa il 50% e per estensione è stato utilizzato lo stesso principio.

La Figura 62 rappresenta un confronto tra le tre tipologie di veicoli realizzati ed utilizzati nei due LCA: Delivery Van I (LCA 2000) e Furgone (diesel – Euro 4) e Frugone (Gas) (LCA 2010). Da essa è possibile constatare come l'impiego di veicoli conformi alla normativa Euro 4 consenta di ridurre l'impatto delle emissioni di più

del 10% e con l'adozione di veicoli alimentati a gas tale impatto è ulteriormente ridotto di oltre il 60%.

Ciascun processo è attribuito, nel calcolo, al numero effettivo di chilometri percorsi dai veicoli commerciali leggeri circolanti, per tipologia veicolare, durante una giornata tipo.

Figura 62 – Confronto tra i Processi Delivery Van I – Furgone (Diesel – Euro 4) – Furgone (Gas) presenti nello Scenario 2010



4.7.3.2 I costi del carburante

I carburanti utilizzati dai veicoli circolanti sono il gasolio e il gas naturale:

- **Costo diesel furgone**: per il calcolo del costo del gasolio attribuito ai veicoli diesel, si confronti il Capitolo 3.6.3.2;
- **Costo gas furgone**: il consumo, indicato dalla casa costruttrice, è pari a 0,1496 kg/km, considerando le condizioni di utilizzo individuate alla nota 97. Il costo del gas naturale per autotrazione è di 0,664 €/kg. Il costo chilometrico è pertanto di 0,009933 €/km.

Il costo è attribuito, nel calcolo, ai chilometri complessivamente percorsi.

4.7.3.3 I costi di utilizzo

Poiché le condizioni di utilizzo non sono state modificate, i costi unitari relativi sono analoghi a quelli individuati per l’LCA 2000. si confronti il Capitolo 3.6.3.3.

I costi sono attribuiti, nel calcolo, ai km, al numero di veicoli o agli LCA aggiornati in base ai nuovi parametri individuati da questo capitolo.

4.7.3.4 Gli incidenti ed i costi sociali

Analogamente a quanto stabilito nel paragrafo relativo ai costi di utilizzo, poiché le condizioni sono rimaste invariate, i parametri relativi all’incidentalità sono analoghi a quelli individuati per l’LCA 2000. si confronti il Capitolo 3.6.3.4.

I costi o i coefficienti d’incidentalità sono attribuiti, nel calcolo, agli LCA aggiornati in base ai nuovi parametri individuati da questo capitolo.

4.7.3.5 L’energia meccanica prodotta

I due veicoli considerati presentano un rendimento analogo del 12,6% ma i poteri calorici dei combustibili sono differenti. È stato, pertanto, necessario

utilizzare due processi diversi per attribuire a ciascun mezzo l'energia meccanica da esso sviluppata⁹⁸.

Il veicolo a gasolio, assunto come modello, ha un consumo di 0,089 kg di combustibile al km. Il potere calorico del gasolio è posto pari a 45,4 MJ/kg. In Tabella 110 è esplicitato il calcolo dell'energia meccanica guadagnata da ogni furgone a gasolio del sistema considerato per ogni km percorso.

Il veicolo a metano, assunto come modello, ha un consumo di 0,049 kg di combustibile al km. Il potere calorico del metano è posto pari a 47,4 MJ/kg. In Tabella 111 è esplicitato il calcolo dell'energia meccanica guadagnata da ogni furgone del sistema considerato per ogni km percorso.

Questi valori, posti negativi, sono attribuiti nel calcolo ai chilometri complessivamente percorsi da tutti i veicoli commerciali leggeri circolanti durante la giornata tipo.

Tabella 110 - Energia meccanica prodotta dalla combustione del gasolio

Rendimento considerato (%)	12,60
Potere calorico del gasolio (MJ/kg)	45,40
Consumo (kg/km)	0,089
Percorrenza (km/kg)	11,24
Energia meccanica (MJ/km)	$12,6\% \cdot 45,40 \text{ MJ/kg} \cdot 0,089$ kg/km = 0,50912

Tabella 111 - Energia meccanica prodotta dalla combustione del metano

Rendimento considerato (%)	12,60
Potere calorico del metano (MJ/kg)	47,40
Consumo (kg/km)	0,049
Percorrenza (km/kg)	20,41
Energia meccanica (MJ/km)	$12,6\% \cdot 47,40 \text{ MJ/kg} \cdot 0,049$ kg/km = 0,2926

⁹⁸ Per una breve descrizione del processo legato all'energia meccanica prodotta, cfr. § 3.4.3.5.

4.7.3.6 Il parco veicolare e le percorrenze

Sulla base della distribuzione di veicoli individuata nell'introduzione al capitolo, si ipotizza che ciascun mezzo percorra una distanza pari al doppio del diametro del cerchio equivalente all'area oggetto di studio (6,8 kmq), maggiorato del 30% per considerare l'aumento del numero di consegne occorso a seguito della razionalizzazione del trasporto merci.

Secondo le ipotesi iniziali, ogni furgone nell'arco della propria vita percorre complessivamente 350.000 km; è così possibile calcolare il numero di cicli di vita necessari a modellare complessivamente le auto circolanti in un giorno feriale nell'area oggetto di studio (Tabella 112).

Tabella 112 - LCA Furgone complessivi

Area oggetto di studio (kmq)	6,800
Raggio del cerchio equivalente (km)	1,425
Diametro del cerchio equivalente (km)	2,850
Distanza effettivamente percorsa (km)	7,400
Furgoni circolanti circolanti (n _{auto})	9.720
Km totali di vita di un'auto (km)	350.000
LCA complessivi	(9.720 furgoni / 350.000 km) · 7,400 km = 0,2055

4.7.4 Caratterizzazione e Valutazione di LCA Traffico Feriale Furgone 2010

Di seguito vengono presentati il Product Stage relativo al ciclo di vita che modella il traffico dei veicoli commerciali leggeri nell'area oggetto di studio (Tabella 113), la caratterizzazione (Tabella 114) e il calcolo complessivo dei danni generati (Tabella 115)⁹⁹.

⁹⁹ Per una definizione delle unità di misura adottate in fase di caratterizzazione e valutazione, cfr. § 1.4.5.

4.7.4.1 La caratterizzazione di LCA Traffico Feriale Furgone

Dall'analisi della caratterizzazione (Tabella 114 e Figura 63) è possibile trarre alcune considerazioni:

- Il **costo individuale totale** vale 80.300 €. Su di esso incide maggiormente il costo per l'assicurazione obbligatoria e bollo 35.300 €, il costo l'assicurazione delle merci 27.500 € e i costi di manutenzione ordinaria 9.060 €. Di valore confrontabile sono, infine, i costi sostenuti per l'acquisto dei mezzi e per il carburante gasolio, rispettivamente 4.720 e 3.320 €. Sostanziale è il risparmio nell'utilizzo del metano: a fronte di un uguale numero di chilometri, il costo per l'acquisto del gasolio è 10 volte tanto quello per il gas metano: 3.230 contro 357 €;
- Il **costo sociale** è di 15,4 € ed è dovuto al costo per gli incidenti mortali 35,5 € e a quello dovuto agli incidenti non mortali 19,9 €, cui si contrappone il guadagno dovuto al processo di rottamazione -40,1 €;
- Il danno dovuto agli **incidenti** vale 0,00233 DALY, che corrispondono a 20,4 ore di vita perse dalle persone che in un giorno feriale utilizzano un veicolo commerciale leggero per accedere all'area centrale della città. A tale valore il contributo maggiore è dato dagli incidenti che hanno provocato morti (0,00228 DALY);
- Nella categoria di danno **Human Health** (che, se si esclude le categorie di impatto Incidenti, presenta complessivamente un danno pari a 0,00655 DALY), il danno maggiore 0,0038 DALY è dovuto alla categoria di impatto Respiratory Inorganics. Nonostante le percorrenze analoghe tra veicoli a motore diesel e veicoli alimentati a gas naturale, si nota come questi ultimi incidano per la metà del danno. A fronte di un danno per i diesel di 0,00215 DALY, i furgoni a

metano arrecano 0,00101 DALY. Significativo anche l'apporto dei processi di produzione dei veicoli, con 0,000814 DALY;

- Nella categoria di danno **Ecosystem Quality** (3.020 PDF·m²·y), il danno maggiore, 2.350 PDF·m²·y, è dovuto alla categoria di impatto Land Use. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto al processo Delivery Van I (2.560 PDF·m²·y) a causa dell'occupazione delle strade pari a 3.010 m²a. Le categorie di impatto Ecotoxicity ed Acidification/Eutrophication presentano danni dello stesso ordine di grandezza con 485 e 408 594 PDF·m²·y, rispettivamente;
- Nella categoria di danno **Resources** (11.500 MJ Surplus) il danno maggiore 11.100 MJ surplus è dovuto alla categoria di impatto Fossil Fuels. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto dai processi di combustione del gasolio per autotrazione 12.200 MJ surplus e dalla combustione del gas naturale 1.450 MJ Surplus. La categoria presente anche un forte guadagno in termini di MJ Surplus, 3.527, dovuti sia all'energia meccanica (da furgoni a gas e diesel) sia ai processi di riciclo che consentono di risparmiare complessivamente 1.070 MJ Surplus.

4.7.4.2 La valutazione di LCA Traffico Feriale Furgone

Dall'analisi della valutazione (Tabella 115 e Figura 64, Figura 65 e Figura 66) è possibile trarre alcune considerazioni:

- Il **danno totale** vale 855 Pt di cui il 75,92% è dovuto alle ai processi di combustione dei veicoli a gasolio, il 22,69% ai processi di combustione dei veicoli a gas naturale, il 10,54% ai processi di produzione dei veicoli ed il 5,17% agli incidenti mortali. Ad essi si contrappongono i vantaggi derivanti dalla produzione di energia meccanica -9,66% e dai processi di riciclo -4,79%;

- Il danno è dovuto principalmente alla categoria di danno Resources (45,34% sul totale) e alla categoria di impatto Fossil Fuels (43,73% sul totale);
- Nella categoria di danno Resources si ha anche un guadagno ambientale di - 118,7 Pt (pari a circa il 30% del totale della categoria di danno e al 14% sul danno totale), dovuto all'energia meccanica prodotta 21,30% e al fine vita (riciclo) 9,31%.

Tabella 113 – LCA Traffico Feriale Furgone 2010 PD

SimaPro 5.0		Product stages	Date:	28/03/2003
Project: traffico Padova			Time:	14.58.54
Life cycle:				
Name	Comment			
+lca traffico feriale 2010 (furgone) PD	Si hp che i furgoni circolanti siano il 70% del parco circolante nel 2001 = 13885 * 70% = 9720 L'area oggetto di studio: 6.380.000 mq (pari a 6,38 kmq) Il raggio cerchio equivalente: 1,425 km Il diametro del cerchio equivalente: 2.850 km Km percorsi in una giornata: 2.850 km * 2 + 30 % = 7.4 km (si hp che poichè sono di meno percorreranno un tratto di strada maggiore per rifornire più esercizi). Cicli di vita di auto totali: (9720 furgoni / 350.000 km) * 7.4 km = 0,2055			
Assembly	Amount	Unit	Comment	
+furgone PD	0,2055	p	(9720 furgoni / 350.000 km) * 7.4 km = 0,2055	
Processes	Amount	Unit	Comment	
+furgone (gas) PD	35964	km	4860 * 7.4 km = 35964 km (furgoni a metano)	
+Furgone (diesel - Euro 4) PD	35964	km	4860 * 7.4 km = 35964 km (furgoni a gasolio - Euro 4)	
+costo gas furgone PD	35964	km	4860 * 7.4 km = 35964 km (km per i quali si usa il prezzo €/kg di metano)	
+costo diesel furgone PD	35964	km	4860 * 7.4 km = 35964 km (km per i quali si usa il prezzo €/kg di gasolio)	
+costo di manutenzione furgone ordinaria PD	71928	km	9720 * 7.4 km = 71928 km (km per i quali si usa il costo chilometrico €/km per la manutenzione ordinaria)	
+costo di manutenzione furgone straordinaria PD	0,2055	p	(9720 furgoni / 350.000 km) * 7.4 km = 0,2055 (furgoni per i quali calcolare i costi sostenuti per la manutenzione straordinaria in 7 anni)	
+costo assicurazione merci furgone PD	9720	p	9720 furgoni (furgoni per i quali si calcola il costo di assicurazione merci) = furgoni circolanti	
+costo assicurazione bollo furgone PD	9720	p	9720 furgoni (furgoni per i quali si calcola il costo di assicurazione e bollo) = furgoni circolanti	
+costo per incidenti mortali furgone PD	0,2055	p	(9720 furgoni / 350.000 km) * 7.4 km = 0,2055 (furgoni per i quali calcolare i costi per incidenti mortali in 7 anni)	
+costo per incidenti non mortali furgone PD	0,2055	p	(9720 furgoni / 350.000 km) * 7.4 km = 0,2055 (furgoni per i quali calcolare i costi per incidenti non mortali in 7 anni)	
+incidenti mortali furgone PD	0,2055	p	(9720 furgoni / 350.000 km) * 7.4 km = 0,2055 (furgoni per i quali calcolare il numero di incidenti mortali in 7 anni)	
+incidenti non mortali furgone PD	0,2055	p	(9720 furgoni / 350.000 km) * 7.4 km = 0,2055 (furgoni per i quali calcolare il numero di incidenti non mortali in 7 anni)	
+Energia meccanica furgone (gasolio) PD	35964	km	4860 * 7.4 km = 71928 km (km per i quali valutare il guadagno derivato dalla produzione di energia meccanica necessaria al movimento dei veicoli) (gasolio)	
+Energia meccanica furgone (metano) PD	35964	km	4860 * 7.4 km = 71928 km (km per i quali valutare il guadagno derivato dalla produzione di energia meccanica necessaria al movimento dei veicoli) (metano)	
Waste/Disposal scenario	Comment			
+disposal scenario furgone 2010 PD				

Parte II – Capitolo 4

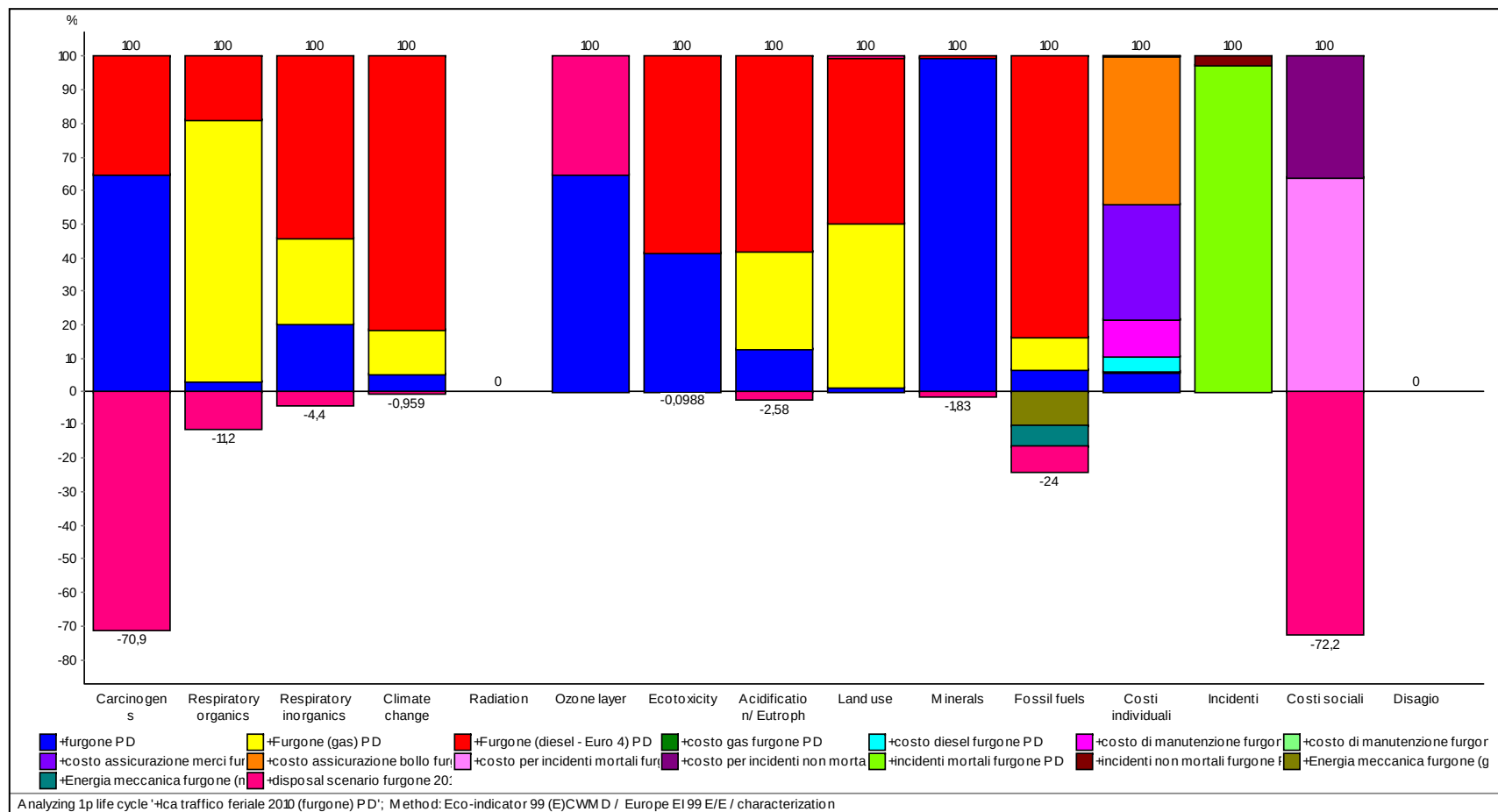
Tabella 114 - Caratterizzazione LCA Traffico Feriale Furgone 2010 PD

SimaPro 5.0	LCIA Profile	Date:	28/03/2003							
Project: traffico Padova		Time:	16.50.27							
Method:	Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E									
Value:	Impact indicator									
Per impact category:	Yes									
Impact category	Unit	Total	+furgone PD	+furgone (gas) PD	+Furgone (diesel - Euro 4) PD	+costo gas furgone PD	+costo diesel furgone PD	+costo di manutenzione furgone ordinaria PD	+costo di manutenzione furgone straordinaria PD	+costo assicurazione merci furgone PD
Carcinogens	DALY	2,300E-05	5,120E-05	x	2,810E-05	x	x	x	x	x
Respiratory organics	DALY	7,850E-05	2,640E-06	6,920E-05	1,660E-05	x	x	x	x	x
Respiratory inorganics	DALY	3,800E-03	8,140E-04	1,010E-03	2,150E-03	x	x	x	x	x
Climate change	DALY	2,640E-03	1,380E-04	3,520E-04	2,180E-03	x	x	x	x	x
Radiation	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ozone layer	DALY	1,130E-07	7,260E-08	x	x	x	x	x	x	x
Ecotoxicity	PAF*m2yr	4,850E+03	2,010E+03	x	2,850E+03	x	x	x	x	x
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	1,870E+02	2,490E+01	5,550E+01	1,120E+02	x	x	x	x	x
Land use	PDF*m2yr	2,350E+03	3,020E+01	1,150E+03	1,160E+03	x	x	x	x	x
Minerals	MJ surplus	4,080E+02	4,140E+02	x	1,910E+00	x	x	x	x	x
Fossil fuels	MJ surplus	1,110E+04	9,440E+02	1,450E+03	1,220E+04	x	x	x	x	x
Costi individuali	euro	8,030E+04	4,720E+03	x	x	3,570E+02	3,320E+03	9,060E+03	1,860E+01	2,750E+04
Incidenti	DALY	2,330E-03	x	x	x	x	x	x	x	x
Costi sociali	euro	1,540E+01	x	x	x	x	x	x	x	x
Disagio	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabella 114 - Caratterizzazione LCA Traffico Feriale Furgone 2010 PD (continua)

Impact category	Unit	+costo assicurazione bollo furgone PD	+costo per incidenti mortal furgone PD	+costo per incidenti non mortal furgone PD	+incidenti mortal furgone PD	+incidenti non mortal furgone PD	+Energia meccanica furgone (gasolio) PD	+Energia meccanica furgone (metano) PD	+disposal scenario furgone 2010 PD
Carcinogens	DALY	x	x	x	x	x	x	x	-5,620E-05
Respiratory organics	DALY	x	x	x	x	x	x	x	-9,910E-06
Respiratory inorganics	DALY	x	x	x	x	x	x	x	-1,750E-04
Climate change	DALY	x	x	x	x	x	x	x	-2,560E-05
Radiation	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x
Ozone layer	DALY	x	x	x	x	x	x	x	3,990E-08
Ecotoxicity	PAF*m2yr	x	x	x	x	x	x	x	-4,800E+00
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	x	x	x	x	x	x	x	-4,960E+00
Land use	PDF*m2yr	x	x	x	x	x	x	x	8,340E+00
Minerals	MJ surplus	x	x	x	x	x	x	x	-7,620E+00
Fossil fuels	MJ surplus	x	x	x	x	x	-1,520E+03	-9,370E+02	-1,070E+03
Costi individuali	euro	3,530E+04	x	x	x	x	x	x	2,120E+01
Incidenti	DALY	x	x	x	2,280E-03	5,930E-05	x	x	x
Costi sociali	euro	x	3,550E+01	1,990E+01	x	x	x	x	-4,010E+01
Disagio	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x

Figura 63 - Caratterizzazione LCA Traffico Feriale Furgone 2010 PD



Parte II – Capitolo 4

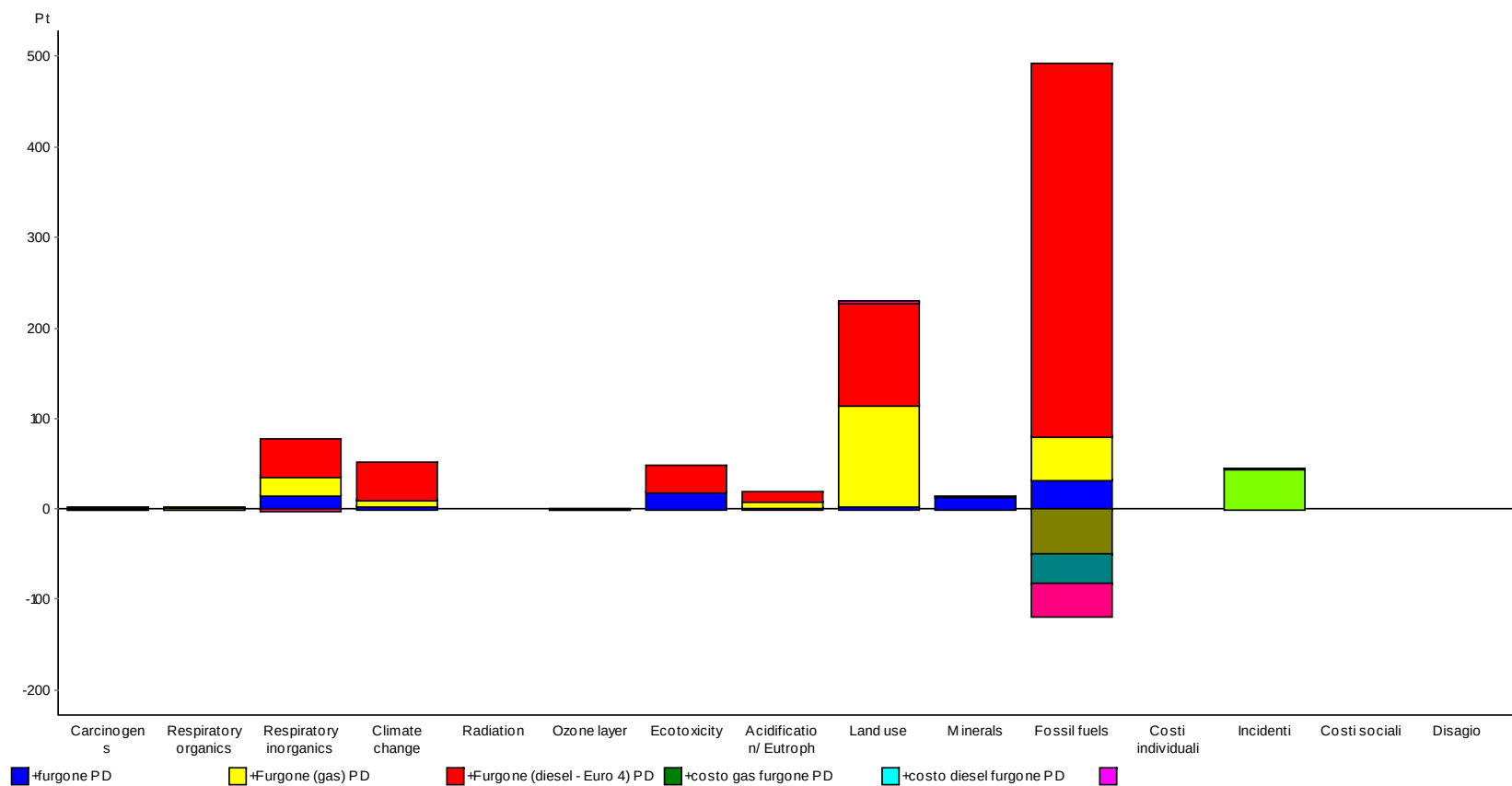
Tabella 115 - Valutazione LCA Traffico Feriale Furgone 2010 PD

SimaPro 5.0	LCIA Profile	Date:	28/03/2003							
Project: traffico Padova		Time:	16.50.57							
Method:	Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E									
Value:	Weighted indicator									
Per impact category:	Yes									
Impact category	Unit	Total	+furgone PD	+furgone (gas) PD	Furgone (diesel - Euro 4) PD	+costo gas furgone PD	+costo diesel furgone PD	+costo di manutenzione furgone ordinaria PD	+costo di manutenzione furgone straordinaria PD	+costo assicurazione merci furgone PD
Total	Pt	8,550E+02	9,010E+01	1,940E+02	6,490E+02	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Carcinogens	Pt	4,470E-01	9,930E-01	x	5,460E-01	x	x	x	x	x
Respiratory organics	Pt	1,520E+00	5,120E-02	1,340E+00	3,220E-01	x	x	x	x	x
Respiratory inorganics	Pt	7,380E+01	1,580E+01	1,960E+01	4,180E+01	x	x	x	x	x
Climate change	Pt	5,130E+01	2,670E+00	6,840E+00	4,230E+01	x	x	x	x	x
Radiation	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ozone layer	Pt	2,180E-03	1,410E-03	x	x	x	x	x	x	x
Ecotoxicity	Pt	4,730E+01	1,960E+01	x	2,780E+01	x	x	x	x	x
Acidification/ Eutrophication	Pt	1,830E+01	2,430E+00	5,410E+00	1,090E+01	x	x	x	x	x
Land use	Pt	2,290E+02	2,940E+00	1,120E+02	1,140E+02	x	x	x	x	x
Minerals	Pt	1,370E+01	1,390E+01	x	6,420E-02	x	x	x	x	x
Fossil fuels	Pt	3,740E+02	3,170E+01	4,880E+01	4,120E+02	x	x	x	x	x
Costi individuali	Pt	0,000E+00	0,000E+00	x	x	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Incidenti	Pt	4,530E+01	x	x	x	x	x	x	x	x
Costi sociali	Pt	0,000E+00	x	x	x	x	x	x	x	x
Disagio	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabella 115 - Valutazione LCA Traffico Feriale Furgone 2010 PD (continua)

Impact category	Unit	+costo assicurazione bollo furgone PD	+costo per incidenti mortali furgone PD	+costo per incidenti non mortali furgone PD	+incidenti mortali furgone PD	+incidenti non mortali furgone PD	+Energia meccanica furgone (gasolio) PD	+Energia meccanica furgone (metano) PD	+disposal scenario furgone 2010 PD
Total	Pt	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	4,420E+01	1,150E+00	-5,110E+01	-3,150E+01	-4,100E+01
Carcinogens	Pt	x	x	x	x	x	x	x	-1,090E+00
Respiratory organics	Pt	x	x	x	x	x	x	x	-1,920E-01
Respiratory inorganics	Pt	x	x	x	x	x	x	x	-3,400E+00
Climate change	Pt	x	x	x	x	x	x	x	-4,970E-01
Radiation	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x
Ozone layer	Pt	x	x	x	x	x	x	x	7,740E-04
Ecotoxicity	Pt	x	x	x	x	x	x	x	-4,680E-02
Acidification/ Eutrophication	Pt	x	x	x	x	x	x	x	-4,840E-01
Land use	Pt	x	x	x	x	x	x	x	8,130E-01
Minerals	Pt	x	x	x	x	x	x	x	-2,560E-01
Fossil fuels	Pt	x	x	x	x	x	-5,110E+01	-3,150E+01	-3,580E+01
Costi individuali	Pt	0,000E+00	x	x	x	x	x	x	0,000E+00
Incidenti	Pt	x	x	x	4,420E+01	1,150E+00	x	x	x
Costi sociali	Pt	x	0,000E+00	0,000E+00	x	x	x	x	0,000E+00
Disagio	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x

Figura 64 - Valutazione LCA Traffico Feriale Furgone 2010 PD



Analyzing 1p life cycle '+lca traffico feriale 2010 (furgone) PD'; Method: Eco-indicator 99 (E)CWM D / Europe EI 99 E/E / weighting

Figura 65 - Valutazione LCA Traffico Feriale Furgone 2010 PD, per categoria di Danno

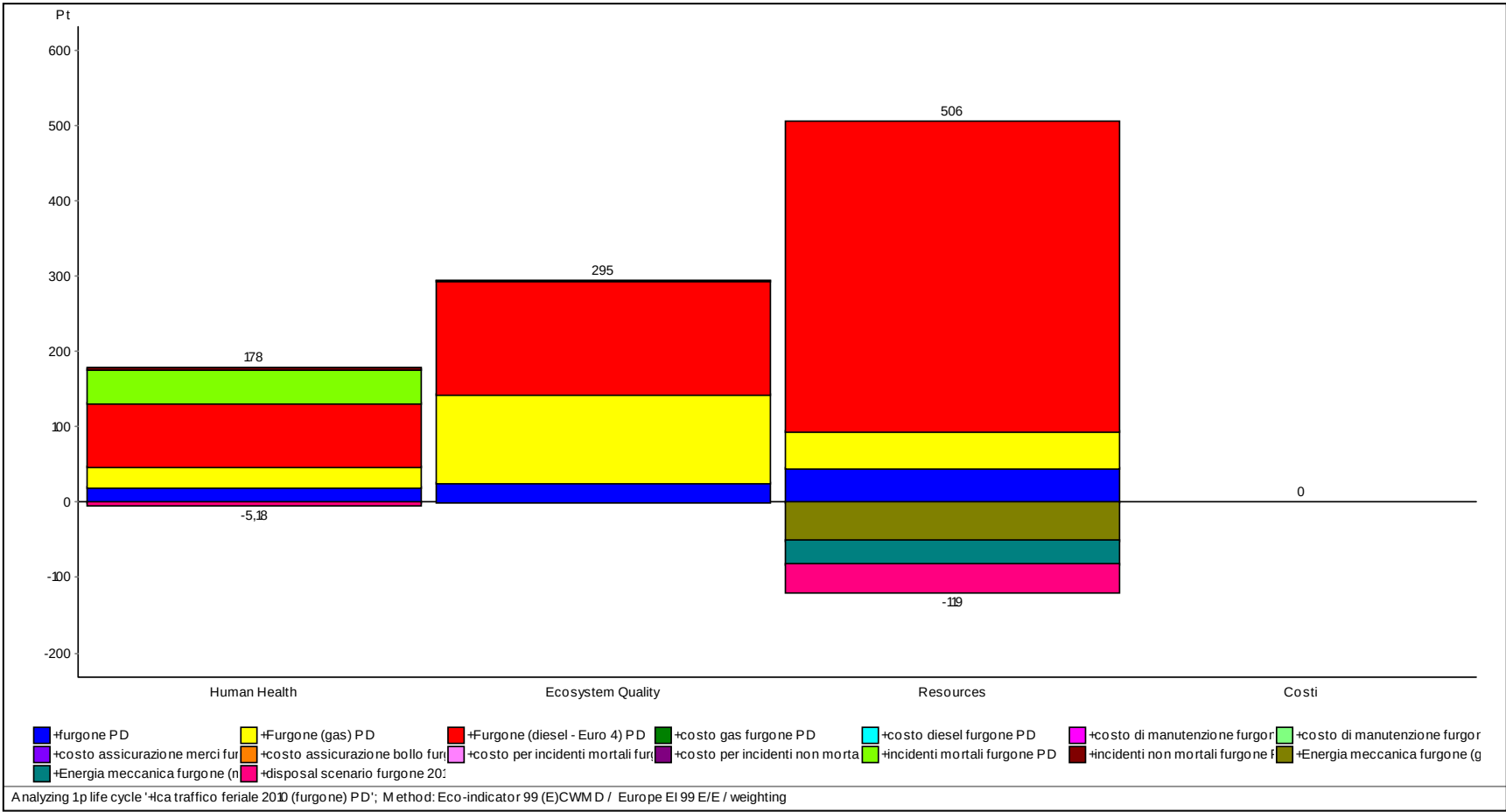
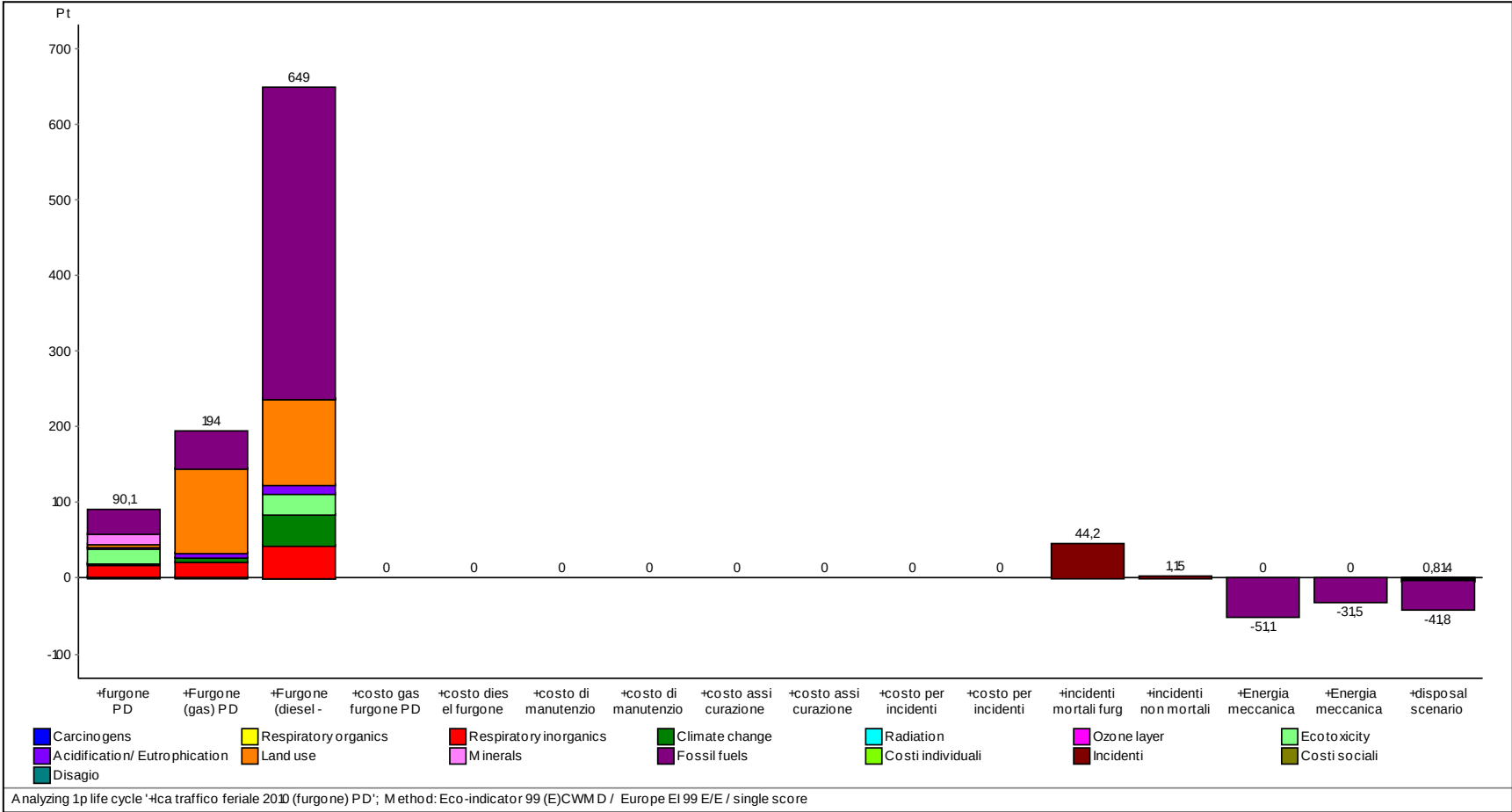


Figura 66 - Valutazione LCA Traffico Feriale Furgone 2010 PD, in base alle Componenti



4.8 LCA del traffico feriale dei veicoli commerciali pesanti, Scenario 2010

4.8.1 *Introduzione*

Il numero di veicoli commerciali pesanti circolanti utilizzato per il calcolo dell'LCA per il 2000 è pari a 16.499. In base alle ipotesi citate nell'introduzione, si ipotizza che nel 2010, il numero di camion effettivamente circolanti sia pari a 11.549. Si ipotizza che il sistema aumenti la propria efficienza di trasporto merci grazie allo sviluppo dei sistemi di logistica integrata, ottimizzando l'utilizzo della capacità di carico e razionalizzando i percorsi di consegna, con un incremento ipotizzato dei chilometri percorsi del 30%. Sulla base dei parametri sopra espressi è possibile determinare l'efficienza di carico dei veicoli (Tabella 116):

Tabella 116 - Calcolo del carico effettivo per i veicoli pesanti, Scenario 2010

Carico ammissibile (t)	19
Carico stimato al 2000 (t)	9,5 (50% di 19)
Veicoli circolanti nel 2000	16.499
Veicoli circolanti nel 2010 (riorganizzato)	11.549
Veicoli circolanti nel 2010 (secondo PUM)	18.974
Percorso nel 2000 (km)	5,7
Percorso nel 2010 (km)	7,4
T-km percorse nel 2000 (t-km)	$5,7 \text{ km} \cdot 16.499 \cdot 19 \text{ t} \cdot 0,5 =$ 1.027.434 t-km
Carico stimato al 2010 (riorganizzato) (t)	$1.027.434 \text{ t-km} / (11.549 \cdot 7,4 \text{ km}) = 12 \text{ t}$

L'efficienza di carico passa da 9,5 a 12 tonnellate con un incremento di oltre il 25%. Inoltre si ipotizza che l'attuale parco mezzi, esclusivamente alimentati a gasolio con emissioni soggette agli standard della normativa Euro 1, venga sostituito con veicoli conformi ai limiti previsti dalla normativa attualmente più restrittiva (Euro 4).

4.8.2 *Assembly dello camion*

Per le considerazioni sull'*assembly* del camion, si confronti il Capitolo 3.7.2.

4.8.3 Caratteristiche del traffico dei veicoli commerciali pesanti

4.8.3.1 La combustione e le emissioni

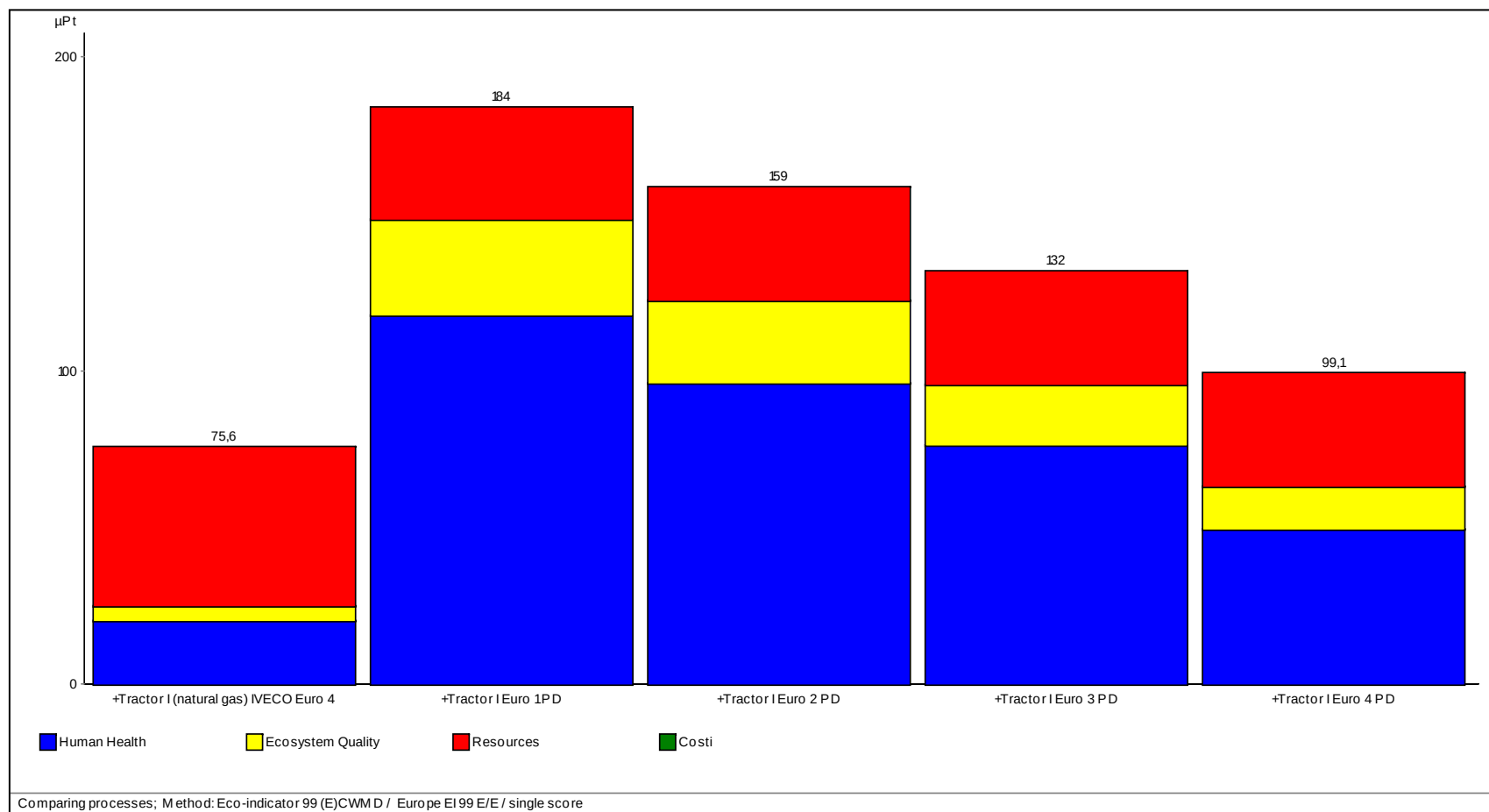
Come anticipato nell'introduzione, è stato ipotizzato di considerare esclusivamente veicoli di tipo Euro 4. È stato, pertanto, modificato il processo Tractor I Euro 1 con l'introduzione dei coefficienti previsti dalla suddetta normativa. In Tabella 117 è presentato il processo Tractor I Euro 4 mentre la Figura 67 rappresenta un confronto tra le quattro tipologie di veicoli realizzati secondo le prescrizioni delle normative europee che si sono succedute nel tempo. Da essa è possibile constatare come l'evoluzione della normativa abbia consentito di ridurre l'impatto delle emissioni in atmosfera di quasi il 50% rispetto alla normativa Euro 1 e come l'adozione di veicoli alimentati a gas naturale potrebbe ridurre le emissioni di un ulteriore 10%.

Il processo è attribuito, nel calcolo, al numero effettivo di chilometri percorsi complessivamente dai veicoli commerciali pesanti circolanti durante una giornata tipo.

Tabella 117 - Processo Tractor I Euro 4

SimaPro 5.0 Processes Date: 28/03/2003				
Project: traffico Padova Time: 12.20.52				
Process				
Category type Transport				
Materials/fuels				
Diesel I	0,28	0	0	kg fuel consumption densità del gasolio: 0.83kg/l consumo in litri: 0.28kg/0.83kg/l=0.337l 2.964km/l (3.55 km/l da Iveco)
Emissions to air				
SO2	0,0003	0	0	kg
NOx	23,3345	0	0	g 3.5g/kWh*6.667kWh/km=23,3345g/km
CO2	0,974	0	0	kg
CO	26,668	0	0	g 4g/kWh*6.667kWh/km=26,668g/km
methane	0,66	0	0	g 1.1g/kWh*1.2kWh/km=1.32g/km
CxHy	3,66685	0	0	g 0.55g/kWh*6.667kWh/km=3,66685g/km
N2O	0,0002	0	0	kg
pentane	0,0001	0	0	kg
non methane VOC	0,00001	0	0	kg
methane	0,00004	0	0	kg
dust (PM10)	0,20001	0	0	g 0.03g/kWh*6.667kWh/km=0,20001g/km
Products				
+Tractor I Euro 4 PD	1	0	0	km Consumo:0,47km/l potenza 200kW a 2400giri/min, 7800cm3 velocità 30km/h=0.5km/min 20kWmin/60min/h=3.33kWh in 1 min energia: 3.33kWh/0.5km=6.667kWh/km

Figura 67 - Confronto tra le cinque tipologie di Veicoli Commerciali Pesanti (Euro 1 - 2 - 3 - 4 - Gas)



4.8.3.2 I costi del carburante

Per ulteriori dettagli sui processi si confronti il Capitolo 3.7.3.2.

4.8.3.3 I costi di utilizzo

Per ulteriori dettagli sui processi si confronti il Capitolo 3.7.3.3.

4.8.3.4 Gli incidenti ed i costi sociali

Per ulteriori dettagli sui processi si confronti il Capitolo 3.7.3.4.

4.8.3.5 L'energia meccanica prodotta

Per ulteriori dettagli sui processi si confronti il Capitolo 3.7.3.5.

4.8.3.6 Il parco veicolare e le percorrenze

Sulla base della distribuzione di veicoli individuata nell'introduzione al capitolo, si ipotizza che ciascun mezzo percorra una distanza pari al doppio del diametro del cerchio equivalente all'area oggetto di studio (6,8 kmq), maggiorato del 30% per considerare l'aumento del numero di consegne occorso a seguito della razionalizzazione del trasporto merci.

Secondo le ipotesi iniziali, un camion nell'arco della propria vita percorre complessivamente 600.000 km; è così possibile calcolare il numero di cicli di vita necessari a modellare complessivamente i veicoli commerciali pesanti circolanti in un giorno ferialo nell'area oggetto di studio (Tabella 118).

Tabella 118 - LCA Camion complessivi

Area oggetto di studio (kmq)	6,800
Raggio del cerchio equivalente (km)	1,425
Diametro del cerchio equivalente (km)	2,850
Distanza effettivamente percorsa (km)	7,400
Camion circolanti circolanti (n_{vcm})	11.549
Km totali di vita di un'auto (km)	600.000
LCA complessivi	(11.549 furgoni / 600.000 km) · 7,400 km = 0, 142438

4.8.4 Caratterizzazione e Valutazione di LCA Traffico Feriale Camion 2010

Di seguito vengono presentati il Product Stage relativo al ciclo di vita che modella il traffico dei veicoli commerciali pesanti nell'area oggetto di studio (Tabella 119), la caratterizzazione (Tabella 120) e il calcolo complessivo dei danni generati (Tabella 121)¹⁰⁰.

4.8.4.1 La caratterizzazione di LCA Traffico Feriale Camion

Dall'analisi della caratterizzazione (Tabella 120 e Figura 68) è possibile trarre alcune considerazioni:

- Il **costo individuale totale** vale 312.000 €, rappresentato per oltre 80% dai costi operativi sostenuti per l'assicurazione. Nello specifico i costi per l'assicurazione RC e la tassa di circolazione (bollo) incidono per 218.000 € (69,83%) e i costi per l'assicurazione per le merci incidono per 32.700 € (10,46%). In misura paragonabile incidono i costi per l'acquisto del carburante 25.000 € (pari al 8%) ed i costi per la manutenzione ordinaria 22.200 (7,11%);
- Il **costo sociale** presenta un saldo positivo di 111 € dovuto alla differenza tra guadagni dai processi di riciclo (130 €) ed i costi per gli incidenti mortali (11,80 €) e non (6,65 €);
- Il danno dovuto agli **incidenti** vale $7,84 \times 10^{-4}$ DALY che corrisponde a circa 6,9 ore di vita perse dalle persone che in un giorno accedono all'area centrale della città. Il danno è imputabile quasi esclusivamente agli incidenti mortali (oltre il 97%);
- Nella categoria di danno **Human Health** (il cui danno totale è pari a 0,178 DALY, escludendo il danno da incidenti) il danno maggiore 0,157 DALY è

¹⁰⁰ Per una definizione delle unità di misura adottate in fase di caratterizzazione e valutazione, cfr. § 1.4.5.

dovuto alla categoria di impatto Respiratory Inorganics. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto ai processi di combustione del motore 0,154 DALY a causa principalmente alla emissione di 1.620 kg di NO_x, prodotto dai processi di combustione del gasolio, che apportano un danno di 0,144 DALY. Un contributo notevole è dato anche dalla CO₂ 0,0189 DALY, a seguito delle emissioni in atmosfera di 90 tonnellate e dal particolato (PM₁₀) 0,00498 DALY a seguito dell'emissione di 13,3 kg;

- Nella categoria di danno **Ecosystem Quality** 10.400 PDF·m²·y, il danno maggiore 9.390 PDF·m²·y è dovuto alla categoria di impatto Acidification/Eutrophication. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto ai processi di combustione del motore diesel (9.250 PDF·m²·y) a causa della emissione di 1.620 kg di NO_x, prodotti dai processi di combustione del gasolio;
- Nella categoria di danno **Resources** (81.800 MJ Surplus), il danno maggiore, 79.600 MJ surplus, è dovuto alla categoria di impatto Fossil Fuels. Il contributo maggiore a tale danno è determinato dai processi di combustione del motore diesel, 91.600 MJ Surplus, e viene ridotto di circa il 20% dal guadagno derivante dall'energia meccanica prodotta, 11.400 MJ Surplus, e dai processi di riciclo, 3.850 MJ Surplus. È importante sottolineare come l'ipotesi di riciclo complessivo consenta di ottenere un guadagno, in termini di minor consumo di energia, che è superiore all'energia necessaria ai processi di produzione dei veicoli. Questi ultimi, infatti, necessitano complessivamente di 3.240 MJ Surplus (considerando esclusivamente la categoria Fossil Fuels) mentre il processo di riciclo consenta di risparmiare 3.850 MJ Surplus.

4.8.4.2 La valutazione di LCA Traffico Feriale Camion

Dall'analisi della valutazione (Tabella 121 e Figura 69, Figura 70 e Figura 71) è possibile trarre alcune:

- Il **danno totale** vale 7.240 Pt dovuto principalmente, per oltre il 47,94% alla categoria di danno Human Health. La categoria Resources incide per il 38% mentre la categoria Ecosystem Quality per il 14,06%;
- Il danno è dovuto principalmente alla categoria di impatto Respiratory Inorganics 42,08% e Fossil Fuels 36,97%. Significativo è anche il contributo della categoria Acidification/Eutrophication con 12,66%. Significativo anche l'apporto del danno connesso ai cambiamenti climatici, il cui danno complessivo è di circa il 6%;
- Nella categoria di danno Resources, 2.750 Pt, si ha anche un guadagno ambientale di -517 Pt dovuto all'energia meccanica prodotta e al fine vita (riciclo).

Tabella 119 – LCA Traffico Feriale Camion 2010 PD

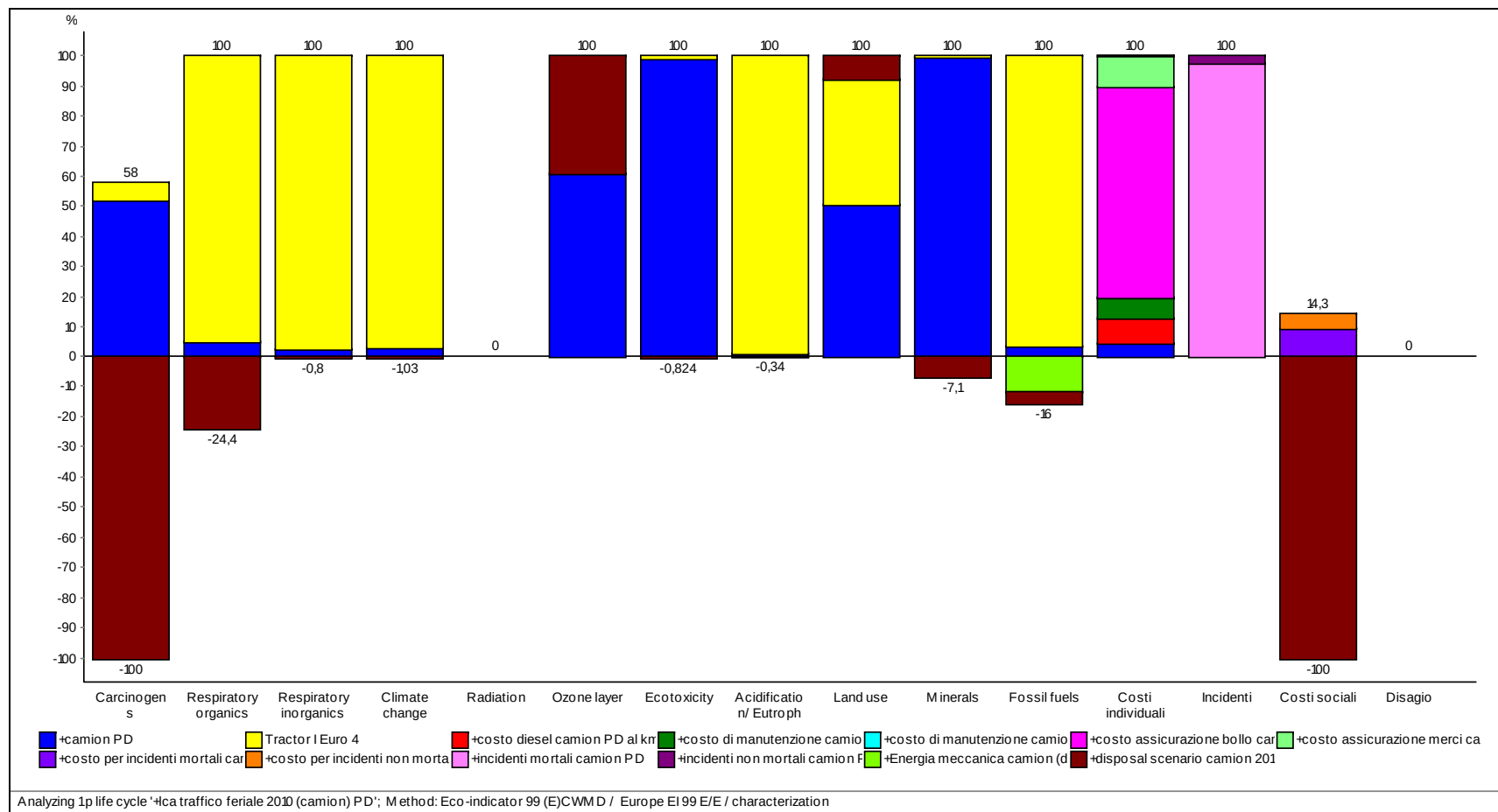
SimaPro 5.0		Product stages	Date:	28/03/2003
Project: traffico Padova			Time:	14.58.41
Life cycle:				
Name		Comment		
+lca traffico feriale 2010 (camion) PD		Si ipotizza che i camion circolanti siano il 70% del parco circolante nel 2001 = 11549. L'area oggetto di studio: 6.380.000 mq (pari a 6,38 kmq) Il raggio cerchio equivalente: 1,425 km Il diametro del cerchio equivalente: 2.850 km Km percorsi in una giornata: 2.850 km * 2 + 30 % = 7.4 km (si ipotizza che poichè sono di meno percorreranno un tratto di strada maggiore per rifornire più esercizi). Cicli di vita di auto totali: (11549 camion / 600.000 km) * 7.4 km = 0,142438		
Assembly		Amount	Unit	Comment
+camion PD		0,142438	p	Si considera un camion della portata di 19t che viaggia al 82% del proprio pieno carico (15.6 t). Vita media: 4 anni Percorrenza complessiva: 600.000 km Cicli di vita totali: (11549 camion / 600.000 km) * 7.4 km = 0,142438
Processes		Amount	Unit	Comment
Tractor I Euro 4		85462,6	km	11549 * 7.4 km = 85462,6 km
+costo diesel camion PD al km		85462,6	km	11549 * 7.4 km = 85462,6 km
+costo di manutenzione camion ordinaria PD		85462,6	km	11549 * 7.4 km = 85462,6 km (km per i quali si usa il costo chilometrico €/km per la manutenzione ordinaria)
+costo di manutenzione camion straordinaria PD		0,142438	p	(10439 camion / 600.000 km) * 7.4 km = 0,128748 (camion per i quali calcolare i costi sostenuti per la manutenzione straordinaria in 4 anni)
+costo assicurazione bollo camion PD		11549	p	11549 camion (camion per i quali si calcola il costo di assicurazione e bollo) = camion circolanti
+costo assicurazione merci camion PD		11549	p	11549 camion (camion per i quali si calcola il costo di assicurazione merci) = camion circolanti
+costo per incidenti mortali camion PD		0,142438	p	(11549 camion / 600.000 km) * 7.4 km = 0,142438 (camion per i quali calcolare i costi per incidenti mortali in 4 anni)
+costo per incidenti non mortali camion PD		0,142438	p	(11549 camion / 600.000 km) * 7.4 km = 0,142438 (camion per i quali calcolare i costi per incidenti non mortali in 4 anni)
+incidenti mortali camion PD		0,142438	p	(11549 camion / 600.000 km) * 7.4 km = 0,142438 (camion per i quali calcolare il numero di incidenti mortali in 4 anni)
+incidenti non mortali camion PD		0,142438	p	(11549 camion / 600.000 km) * 7.4 km = 0,142438 (camion per i quali calcolare il numero di incidenti non mortali in 4 anni)
+Energia meccanica camion (diesel) PD		85462,6	km	11549 * 7.4 km = 85462,6 km (km per i quali valutare il guadagno derivato dalla produzione di energia meccanica necessaria al movimento dei veicoli)
Waste/Disposal scenario		Comment		
+disposal scenario camion 2010 PD				

Parte II – Capitolo 4

Tabella 120 - Caratterizzazione LCA Traffico Feriale Camion 2010 PD

SimaPro 5.0		LCIA Profile		Date: 28/03/2003											
Project: traffico Padova		Time: 18.10.09													
Method:		Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E													
Value:		Impact indicator													
Per impact category:		Yes													
Impact category	Unit	Total	+camion PD	Tractor I Euro 4	+costo diesel camion PD al km	+costo di manuten zione camion ordinaria PD	+costo di manuten zione camion straordin aria PD	+costo assicurazi one bollo camion PD	+costo assicurazi one merci camion PD	+costo per incidenti mortali camion PD	+costo per incidenti non mortali camion PD	+incident i mortali camion PD	+incident i non mortali camion PD	+Energia meccanic a camion (diesel) PD	+disposas cenario camion 2010 PD
Carcinogens	DALY	-1,51E-04	1,87E-04	2,18E-05	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-3,60E-04
Respiratory organics	DALY	1,14E-04	7,71E-06	1,43E-04	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-3,67E-05
Respiratory inorganics	DALY	1,57E-01	3,77E-03	1,54E-01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-1,27E-03
Climate change	DALY	2,11E-02	6,11E-04	2,07E-02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-2,21E-04
Radiation	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ozone layer	DALY	2,89E-07	1,76E-07	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1,13E-07
Ecotoxicity	PAF*m2yr	7,44E+03	7,44E+03	6,15E+01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-6,18E+01
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	9,39E+03	1,05E+02	9,32E+03	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-3,20E+01
Land use	PDF*m2yr	2,98E+02	1,50E+02	1,24E+02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2,36E+01
Minerals	MJ surplus	2,21E+03	2,36E+03	1,43E+01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-1,69E+02
Fossil fuels	MJ surplus	7,96E+04	3,24E+03	9,16E+04	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-1,14E+04	-3,85E+03
Costi individuali	euro	3,12E+05	1,43E+04	x	2,50E+04	2,22E+04	7,35E+00	2,18E+05	3,27E+04	x	x	x	x	x	4,41E+01
Incidenti	DALY	7,84E-04	x	x	x	x	x	x	x	x	x	7,65E-04	1,98E-05	x	x
Costi sociali	euro	-1,11E+02	x	x	x	x	x	x	x	1,18E+01	6,65E+00	x	x	x	-1,30E+02
Disagio	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Figura 68 - Caratterizzazione LCA Traffico Feriale Camion 2010 PD



Parte II – Capitolo 4

Tabella 121 - Valutazione LCA Traffico Feriale Camion 2010 PD

SimaPro 5.0	LCIA Profile	Date:	28/03/2003												
Project: traffico Padova		Time:	18.10.42												
Method:		Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E													
Value:		Weighted indicator													
Per impact category:		Yes													
Impact category	Unit	Total	+camion PD	Tractor I Euro 4	+costo diesel camion PD al km	+costo di manutenzione ordinaria PD	+costo di manutenzione straordinaria PD	+costo assicurazione bollo camion PD	+costo assicurazione merci camion PD	+costo per incidenti mortali camion PD	+costo per incidenti non mortali camion PD	+incidenti i mortali camion PD	+incidenti i non mortali camion PD	+Energia meccanica camion (diesel) PD	+disposal scenario camion 2010 PD
Total	Pt	7,24E+03	3,75E+02	7,40E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,48E+01	3,83E-01	-3,82E+02	-1,73E+02
Carcinogens	Pt	-2,93E+00	3,63E+00	4,23E-01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-6,98E+00
Respiratory organics	Pt	2,20E+00	1,50E-01	2,77E+00	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-7,13E-01
Respiratory inorganics	Pt	3,04E+03	7,32E+01	3,00E+03	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-2,46E+01
Climate change	Pt	4,09E+02	1,19E+01	4,02E+02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-4,28E+00
Radiation	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ozone layer	Pt	5,61E-03	3,43E-03	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2,19E-03
Ecotoxicity	Pt	7,25E+01	7,25E+01	6,00E-01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-6,03E-01
Acidification/ Eutrophication	Pt	9,16E+02	1,03E+01	9,09E+02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-3,12E+00
Land use	Pt	2,91E+01	1,46E+01	1,21E+01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2,30E+00
Minerals	Pt	7,42E+01	7,94E+01	4,80E-01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-5,67E+00
Fossil fuels	Pt	2,68E+03	1,09E+02	3,08E+03	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-3,82E+02	-1,29E+02
Costi individuali	Pt	0,00E+00	0,00E+00	x	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	x	x	x	x	x	0,00E+00
Incidenti	Pt	1,52E+01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1,48E+01	3,83E-01	x	x
Costi sociali	Pt	0,00E+00	x	x	x	x	x	x	x	0,00E+00	0,00E+00	x	x	x	0,00E+00
Disagio	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Figura 69 - Valutazione LCA Traffico Feriale Camion 2010 PD

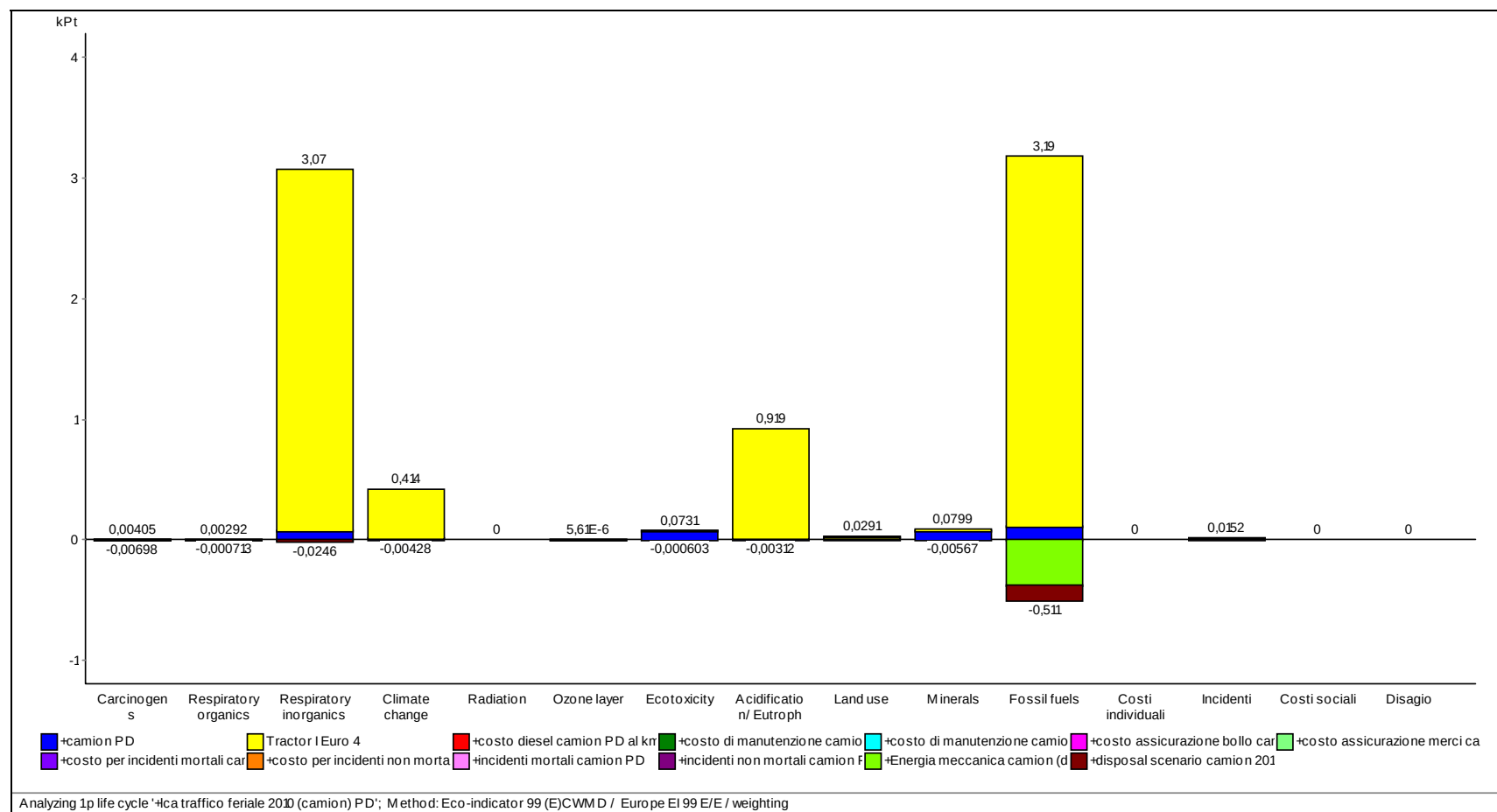


Figura 70 - Valutazione LCA Traffico Feriale Camion 2010 PD, per categoria di Danno

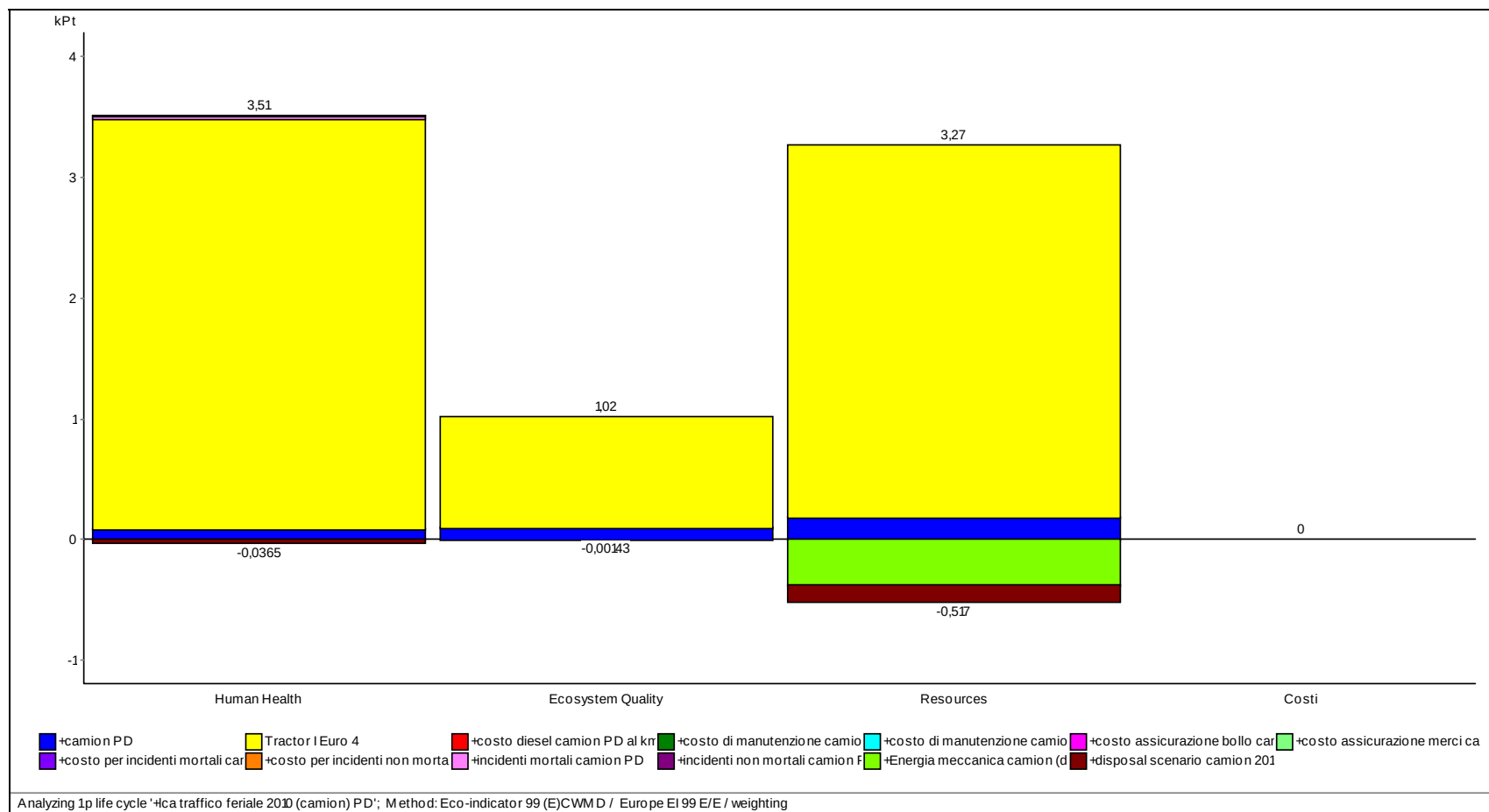
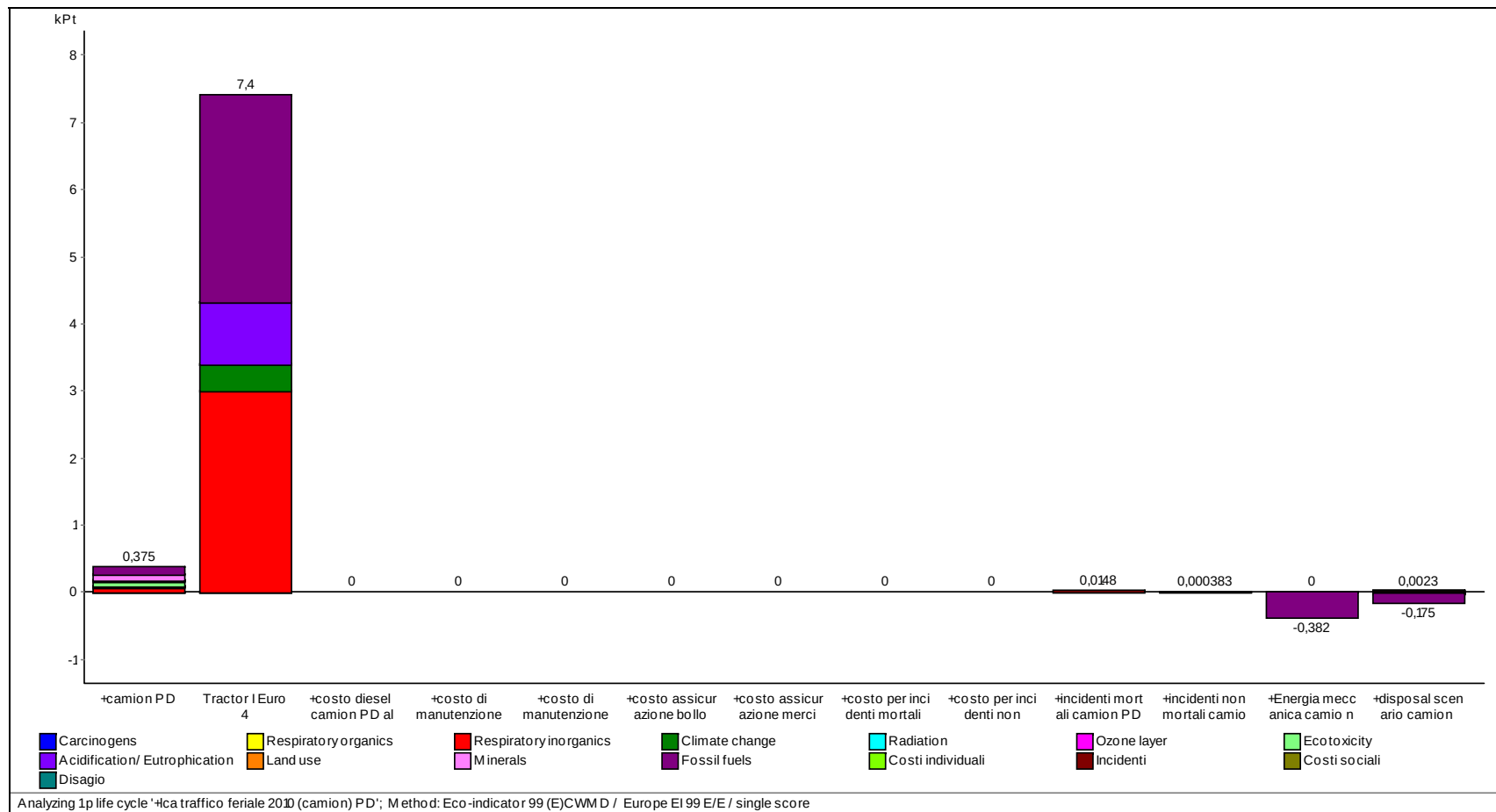


Figura 71 - Valutazione LCA Traffico Feriale Camion 2010 PD, in base alle Componenti



4.9 LCA del traffico feriale dei mezzi pubblici, Scenario 2010

4.9.1 Introduzione

La riorganizzazione dei trasporti non può prescindere da un potenziamento del servizio offerto dalle aziende che gestiscono i TPL (trasporti pubblici locali), in quanto esse devono soddisfare la domanda di mobilità che, tramite politiche ed interventi realizzati *ad hoc*, non può essere soddisfatta con l'ausilio dei mezzi privati. Le ipotesi presentate nel presente studio individuano un aumento generalizzato della domanda di mobilità di circa il 15% in assenza di interventi correttivi e di ridistribuzione. Per estensione, questo incremento può essere attribuito anche ai passeggeri del TP con la conseguenza che l'azienda APS Mobilità dovrà fornire il servizio a 66.323 passeggeri. Oltre ad essi, devono essere tenute in considerazione quelle persone che, per scelta o per obbligo, non hanno la possibilità di sfruttare un mezzo di trasporto privato per i loro spostamenti. Secondo le ipotesi effettuate per la riorganizzazione del parco automobilistico e motoristico circolante al 2010, il numero di vetture i cui passeggeri dovranno utilizzare mezzi di trasporto alternativi saranno 36.657 alimentate a benzina e 6.469, alimentate a gasolio (nell'ipotesi di mantenere la distribuzione analoga a quella indicata nell'LCA 2000).

Il codice SimaPro 5 attribuisce ai processi che valutano le emissioni dei singoli mezzi degli impatti ipotizzando che essi trasportino rispettivamente 1 passeggero, in media, per i veicoli a benzina, ed 1,6 passeggeri, in media, per i veicoli diesel. È possibile, pertanto, calcolare, il numero di passeggeri che, non utilizzando l'automobile per i propri spostamenti, dovranno essere assorbiti dal servizio pubblico: 47.007.

Relativamente ai veicoli a due ruote, i passeggeri che utilizzeranno il mezzo pubblico è pari a 5.530, come differenza tra i veicoli circolanti nel 2000 e quelli che si ipotizza circolino nel 2010, a seguito della riorganizzazione, con un coefficiente di carico di 1 passeggero per veicolo.

Complessivamente il sistema del trasporto pubblico riorganizzato dovrà sopportare un numero di passeggeri giornalieri pari a 118.860.

La riorganizzazione ipotizzata prevede, inoltre, la sensibile variazione della capacità media dei mezzi pubblici, che passa da 72 a 82 passeggeri, in accordo a quanto previsto dal PUM, a seguito dell'introduzione di veicoli più capienti di nuova generazione, ed il loro incremento, per sostenere l'aumento della domanda, mantenendo costante il numero di corse effettuate da ogni mezzo nell'arco di una giornata tipo (10,4). I veicoli introdotti, si ipotizza siano alimentati per il 50% da gas naturale e per il restante 50% da energia elettrica, per un totale di 301 veicoli.

4.9.2 Assembly dell'autobus

Per le considerazioni sull'*assembly* dell'automobile, si confronti il Capitolo 3.8.2.

4.9.3 Caratteristiche del traffico dei mezzi pubblici

4.9.3.1 La combustione e le emissioni

In base alle ipotesi effettuate nell'introduzione al capitolo, i mezzi pubblici circolanti sono alimentati da energia elettrica o da gas naturale. Sono stati creati, pertanto, due processi per la valutazione delle emissioni connesse all'utilizzo di queste due fonti di energia.

- **Bus (elettrico)**: è il processo per la valutazione delle emissioni connesse all'utilizzo dell'energia elettrica per la trazione del mezzo. Il *material* utilizzato è Electricity LV use in I + imports T, già presente nel codice, che valuta le emissioni connesse ad un kWh di elettricità a basso voltaggio utilizzata sulla base del sistema di produzione e distribuzione dell'energia elettrica in Italia, considerando anche la frazione dovuta all'importazione. Gli autobus alimentati ad energia elettrica hanno, secondo le indicazioni della casa costruttrice¹⁰¹, un consumo di 80 Wh/t-km. Ipotizzando un peso di 9,8 t, si ottiene un consumo al km di: $80 \text{ Wh/t-km} \cdot 9,8 \text{ t} = 784 \text{ Wh/km}$ pari a 0,784 kWh/km.

¹⁰¹ Cfr. www.micro-vett.it, Sito Istituzionale di Micro-Vett.

Il consumo è attribuito, nel calcolo, ai chilometri complessivamente percorsi dai mezzi alimentati ad energia elettrica;

- **Bus (Gas) Euro 3:** è il processo per la valutazione delle emissioni connesse all'utilizzo del gas naturale per la trazione del mezzo. Secondo le indicazioni della casa costruttrice¹⁰², questo tipo di veicolo consuma 50 kg di gas naturale ogni 100 km percorsi, con una densità del gas di 0,71 kg/m³. In Tabella 122 è indicato il processo Bus (Gas) Euro 3.

Effettuando un confronto tra le 3 diverse categorie di veicoli pubblici utilizzati nel presente LCA e in quello relativo al 2000, si veda Figura 72, è possibile individuare il sensibile vantaggio del motore elettrico rispetto agli altri motore a combustione. In particolare, nella categoria Human Health si ha una riduzione del 86% rispetto alla situazione nella quale il bus a Gecam (Euro 3) rappresenta lo stato dell'arte. A livello di punteggio complessivo si nota che, anche se limitata, si ha una riduzione dell'impatto del veicolo a gas rispetto a quello a Gecam (-9%). La riduzione limitata è dovuta, presumibilmente, alla bassa efficienza del motore a gas rispetto a quello a combustione interna. La riduzione si fa sensibilmente più marcata (-76%) nel confronto tra il Gecam ed i veicoli a motore elettrico.

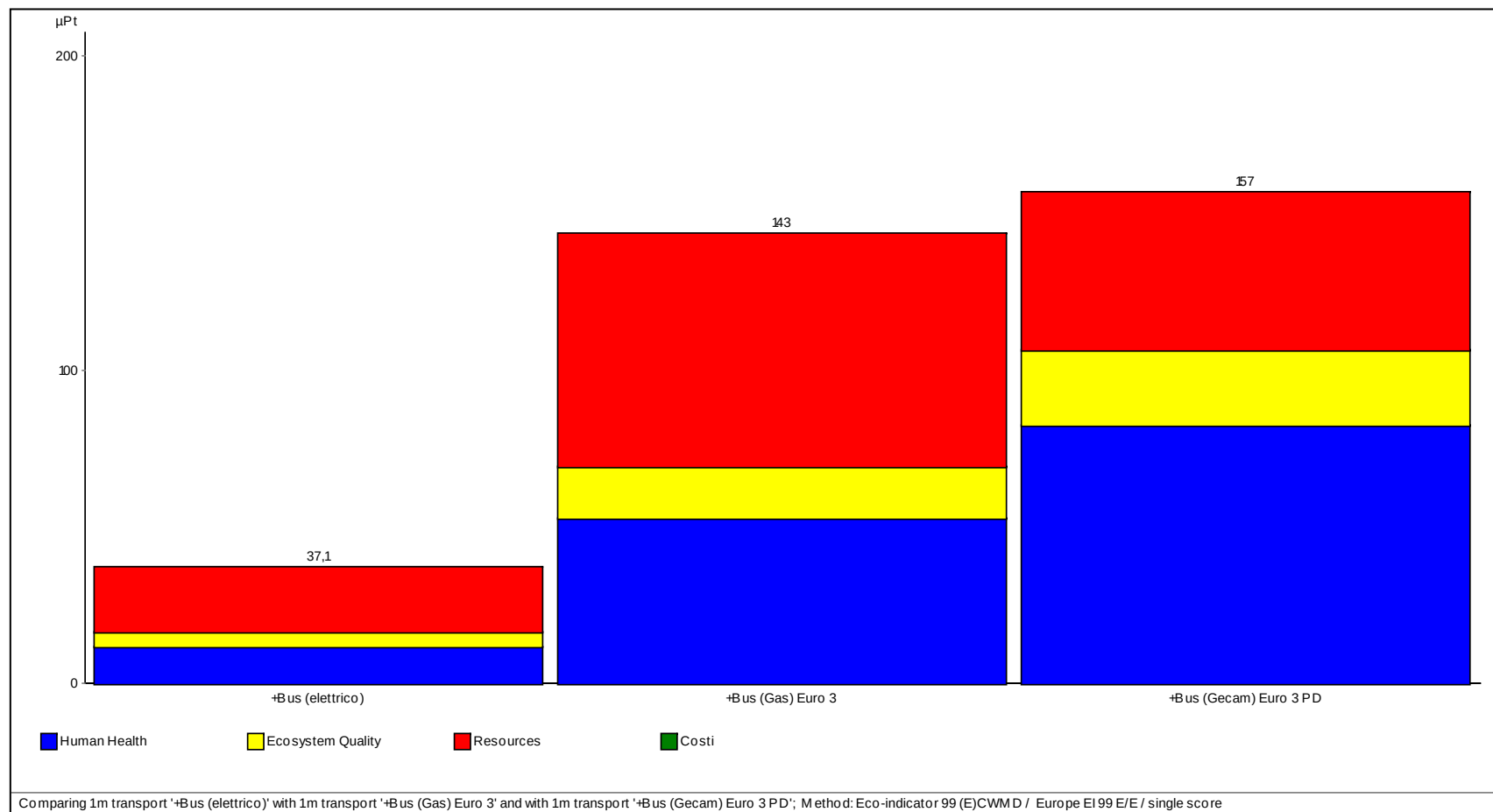
Il consumo è attribuito, nel calcolo, ai chilometri complessivamente percorsi dai mezzi alimentati ad energia elettrica.

¹⁰² Cfr. Dati forniti dalla ditta BredaMenarinibus.

Tabella 122 - Processo Bus (gas) Euro 3

SimaPro 5.0 Processes Date: 28/03/2003					
Project: traffico Padova Time: 12.20.00					
Process					
Category type	Transport				
Comment	Riding by bus (combustion only) (irrespective of number of passengers). fuel consumption: 50 kg/100km densità 0,71 kg/mc (M240 LU GNC Bredamenarinibus)				
Materials/fuels					
Natural gas B300	0,5	0	0	kg	fuel consumption: 50 kg/100km densità 0,71 kg/mc (M240 LU GNC BredaMenarinibus)
Emissions to air					
CO	0,006147	0	0	g	0,009 g/kWh=0,009 g/kWh*6.83kWh/km=0,006147g/km mCO2/mcomb=44/(12+m/n) m=4, n=1
CO2	1375	0	0	g	mCO2=2.75*0.5=1.375kg/km 133,8CO2/0,208CO)*0,09225=59,3415g da car(natural gas)
NOx	25,4759	0	0	g	3,73 g/kWh=3,73 g/kWh*6.83kWh/km=25,4759g/km
CxHy	2,28805	0	0	g	1/2*0,67g/kWh=0,335 g/kWh*6.83kWh/km=2,28805g/km
methane	2,28805	0	0	g	1/2*0,67g/kWh=0,335 g/kWh*6.83kWh/km=2,28805g/km
Non material emission					
Occup. as rail/road area	197	0	0	cm2a	
Products					
+Bus (Gas) Euro 3	1	0	0	km	potenza: 205kW velocità: 30km/h energia/km: 205kW/30km/h=6.83kWh/km

Figura 72 – Confronto tra i Processi Bus (elettrico) – Bus (Gas) Euro 3 – Bus (Gecam) Euro 3



4.9.3.2 I costi del carburante

Poiché sono stati ipotizzati due diverse alimentazioni per i veicoli pubblici, ad energia elettrica ed a gas naturale, è stato necessario creare due processi per la valutazione dei costi sostenuti dall'azienda dei trasporti per la percorrenza di un chilometro da parte di ciascun tipologia di mezzo.

- **Costo energia elettrica per trazione autobus:** è il processo per la valutazione del costo sostenuto dall'azienda dei trasporti per l'energia elettrica necessaria al movimento dei mezzi pubblici per un chilometro. In base a quanto valutato da un'azienda che produce questo tipo di veicoli (Micro-Vett), il costo dell'energia per veicoli a trazione elettrica in Italia è pari a 0,18 €/kWh. Questo parametro è stato introdotto nei calcoli come costo sostenuto dall'azienda dei trasporti; è, pertanto, un costo sociale;
- **Costo gas autobus Menarini:** è il processo per la valutazione del costo sostenuto dall'azienda dei trasporti per il gas naturale necessario al movimento dei veicoli alimentati con questo combustibile. In base a quanto valutato dall'un'azienda produttrice dei veicoli a gas utilizzati come modello, il costo è pari a 0,40 €/km. Questo parametro è stato introdotto nei calcoli come costo sostenuto dall'azienda dei trasporti; è, pertanto, un costo sociale.

I parametri di costo sono attribuiti, nel calcolo, ai chilometri complessivamente percorsi.

4.9.3.3 I costi di gestione

I processi relativi ai costi di Manutenzione, Assicurazione e Bollo sono analoghi a quelli utilizzati nel calcolo dell'LCA per il 2000 e riferiti, rispettivamente, ai chilometri effettivamente percorsi dai mezzi pubblici nell'arco delle 12 ore di valutazione del fenomeno, per il costo di manutenzione, e al numero di veicoli

circolanti per l'assicurazione e il bollo. Per ulteriori dettagli sui processi si confronti il Capitolo 3.8.3.3.

- **Costo del personale:** è il processo che valuta i costi sostenuti dall'azienda per i propri dipendenti. Per una descrizione delle modalità di calcolo del valore effettivo, si veda il Capitolo 3.8.3.3. Per la determinazione del numero di dipendenti necessari all'espletamento delle attività dell'azienda dei trasporti, si ipotizza che il rapporto dipendenti/autobus rimanga costante a 2,46. Sulla base del numero di autobus necessari per le funzioni di servizio, calcolato nell'introduzione, il numero di dipendenti ammonta a 741.

Il costo è attribuito, nel calcolo, al numero effettivo di dipendenti previsti.

4.9.3.4 Gli incidenti ed i costi sociali

Per i processi relativi ai costi connessi agli incidenti e per la determinazione del valore statistico degli stessi, si confronti il Capitolo 3.8.3.4.

4.9.3.5 I costi ed i ricavi del servizio

Sulla base del numero di passeggeri previsti nel trasporto pubblico (118.860) e del numero di veicoli necessari (301), è possibile calcolare il ricavo ottenuto dall'azienda dei trasporti nell'arco di una giornata tipo ed il costo individuale complessivo sostenuto dagli utenti. Si ipotizza che la tariffa unitaria non venga modificata, rimanendo pari a 0,85 €, che la distribuzione dei viaggi tra ore di punta e ore di morbida risulti analoga a quella individuata nel 2000, ovvero il 65% dei passeggeri viaggia nelle ore di punta (7:30 – 9:00 e 17:30 – 19:00), il restante 35% nelle restanti 9 ore (9:00 – 17:30). Si ipotizza, inoltre, che nelle ore di punta ogni veicolo trasporti il 90% del numero massimo ammissibile di passeggeri, pari a 74 a seguito di una capienza media di 82, e che nelle ore di morbida il numero di passeggeri trasportati sia il 50% in più di quanto previsto nelle ore di morbida per il 2000. In Tabella 123 è esplicitato il calcolo delle corse necessarie per sostenere il

flusso di passeggeri nelle ore di punta ed in quelle di morbida sulla base dei dati sopra riportati.

Tabella 123 - Costi e ricavi passeggeri

Passeggeri nei giorni feriali	118.860
Coefficiente di carico - ore di punta (passeggeri)	74
Passeggeri trasportati - ore di punta (65% del totale)	77.259
Corse - ore di punta (passeggeri/Coeff. Carico)	1.044
Corse necessarie in più – ore di punta	$1.044 - 566 = 478$
Coefficiente di carico - ore di morbida (passeggeri)	20
Passeggeri trasportati - ore di morbida (35% del totale)	41.601
Corse - ore di morbida (passeggeri/Coeff. Carico)	2.080
Corse necessarie in più – ore di punta	$2.080 - 1.567 = 513$
Costo del titolo di viaggio (€)	0,85
Costo (Ricavo) passeggeri - ore di punta	€ 65.670,15
Costo (Ricavo) passeggeri - ore di morbida	€ 35.360,85

I valori individuati in Tabella 123 sono considerati, nel calcolo, come costo individuale in quanto rappresentano l'esborso degli utenti del servizio pubblico e come costo sociale, in questo caso con segno negativo, in quanto rappresentano una fonte di guadagno per la società dei trasporti e pertanto un guadagno per la collettività.

4.9.3.6 L'energia meccanica prodotta

Le tipologie di veicoli considerate presentano rendimenti e consumi differenti che è necessario valutare per la determinazione dell'energia meccanica prodotta. In particolare per i veicoli a trazione elettrica sono stati considerati sia il rendimento elettrico che quello meccanico al fine di individuare con buona approssimazione il valore dell'energia meccanica prodotta. Si confronti il Capitolo 3.8.3.6, per le modalità generali di calcolo dell'energia meccanica prodotta da veicoli elettrici, sostituendo il consumo elettrico specifico con il coefficiente 0,784 kWh/km, relativo agli autobus elettrici.

Per i veicoli alimentati a gas naturale, il procedimento di calcolo è analogo a quello del capitolo 4.5.3.1 (relativamente alle auto a gas naturale), sostituendo il consumo specifico con il coefficiente 0,5 kg/km, relativo agli autobus a metano.

Questi valori, posti negativi, sono attribuiti, nel calcolo, ai chilometri complessivamente percorsi da tutte le autovetture circolanti durante la giornata tipo.

4.9.3.7 Il parco veicolare e le percorrenze

Sulla base delle ipotesi effettuate nell'introduzione al capitolo e nel paragrafo relativo al costo sostenuto dagli utenti/ricavo per l'azienda dei trasporti per l'acquisto dei titoli di viaggio, è possibile determinare il numero di mezzi necessari a sostenere l'aumento del numero di passeggeri, conseguente alla riorganizzazione ipotizzata, nell'ipotesi che il numero di corse effettuate da ciascun mezzo resti costante e pari a quanto previsto dai valori riferibili al 2000 (2.156 corse / 206 veicoli = 10,45 corse/veicolo).

Tabella 124 - Calcolo veicoli necessari alla riorganizzazione

Passeggeri complessivi trasportati	118.860
Corse complessive effettuate	3.124
Corse medie per mezzo	10,4
Veicoli necessari	$3.124 / 10,4 = 301$
Veicoli in più rispetto agli attuali	$301 - 206 = 95$

Tabella 125 - LCA Autobus complessivi

Area oggetto di studio (km ²)	6,380
Raggio del cerchio equivalente (km)	1,425
Diametro del cerchio equivalente (km)	2,850
Corse giornaliere (7,30 - 19,30)	3.124
Autobus del parco mezzi APS Mobilità	301
Km totali di vita di un autobus	750.000
Km totali percorsi al giorno (km)	$3.124 \text{ corse} \cdot 2,850 \text{ km} = 8.903,4$
Km totali percorsi da ogni autobus al giorno (km)	$8.903,4 / 301 = 29,5$
LCA complessivi	$(301 \text{ autobus} / 750.000 \text{ km}) \cdot 29,5 \text{ km} = 0,011839$

4.9.4 Caratterizzazione e Valutazione di LCA Traffico Feriale Autobus 2010

Di seguito vengono presentati il Product Stage relativo al ciclo di vita che modella il traffico dei veicoli commerciali pesanti nell'area oggetto di studio (Tabella 126), la caratterizzazione (Tabella 127) e il calcolo complessivo dei danni generati (Tabella 128)¹⁰³.

4.9.4.1 La caratterizzazione di LCA Traffico Feriale Autobus

Dall'analisi della caratterizzazione (Tabella 127 e Figura 73) è possibile trarre alcune considerazioni:

¹⁰³ Per una definizione delle unità di misura adottate in fase di caratterizzazione e valutazione, cfr. § 1.4.5.

- Il **costo individuale totale** vale 101.000 €, rappresentato dal costo sostenuto dai passeggeri per l'acquisto dei titoli di viaggio nell'arco di una giornata. L'aumento di oltre il 100% è esclusivamente dovuto al fatto che il numero di passeggeri che utilizzano il mezzo pubblico è più che raddoppiato per effetto delle misure di disincentivazione che hanno consentito di ridurre il numero di veicoli nell'area del centro. L'aumento non è in nessun caso dovuto ad un aumento del costo dei titoli di viaggio;
- Il **costo sociale** è di -10.380 €. Il guadagno è da ascrivere all'aumento del numero di passeggeri che consentono di compensare *in toto* sia il costo per l'acquisto dei mezzi necessari che per l'aumento del numero di passeggeri. Il costo per i dipendenti vale 75.900 €, il costo per l'acquisto dei mezzi 3.500 €;
- Il danno dovuto agli **incidenti** vale 8.77×10^{-6} DALY che corrisponde a 4.6 minuti di vita persi dalle persone che in un giorno feriale usufruiscono dei mezzi di trasporto pubblico per accedere all'area centrale della città. Il danno è esclusivamente imputabile agli incidenti non mortali in quanto, per le ipotesi stazionarie assunte, non sono presenti incidenti mortali realizzati ad opera di mezzi del TPL;
- Nella categoria di danno **Human Health** (il cui danno totale, pari a 0,0154 DALY, è influenzato per meno del 0,6‰ dai danni a seguito di incidenti) il danno maggiore, 0,0129 DALY, è dovuto alla categoria di impatto Respiratory Inorganics. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto ai veicoli a gas Euro 3, 0,0105 DALY, a causa della emissione di 113 kg di NO_x prodotti dai processi di combustione del gas. L'utilizzo di veicoli con motore elettrico consente un notevole guadagno in termini di salute umana: questo si evidenzia dal fatto che, nonostante la distribuzione equa tra veicoli a motore diesel e veicoli elettrici, questi ultimi apportano un danno che è il 17% di quello dovuto ai motori a gas;

- Nella categoria di danno **Ecosystem Quality**, 1.130 PDF·m²·y, il danno maggiore, 729 PDF·m²·y, è dovuto alla categoria di impatto Acidification/Eutrophication. Il contributo maggiore a tale danno è dovuto ai processi di combustione dei veicoli con motore a gas naturale, 660 PDF·m²·y, a causa della emissione di 113 di NO_x prodotti dai processi di combustione del gas;
- Nella categoria di danno **Resources**, 10.800 MJ Surplus, il danno maggiore, 10.100MJ surplus, è dovuto alla categoria di impatto Fossil Fuels. L'aumento considerevole, rispetto ai risultati dello scenario iniziale, è dovuto principalmente (91%) al fatto che i motori a gas sono attualmente meno efficienti e consumano, a parità di energia prodotta, un maggior quantitativo di carburante. I vantaggi in questo caso derivano dal fatto che il gas è sensibilmente meno inquinante. I veicoli ad elettricità rappresentano comunque circa il 25% del totale del danno della categoria Resources. La somma dei due contributi è superiore al 100% in quanto è presente un notevole risparmio a seguito dei processi di riciclo (5%) e soprattutto per l'energia meccanica prodotta dai motori (complessivamente quasi il 20% del danno complessivo).

4.9.4.2 La valutazione di LCA Traffico Feriale Autobus

Dall'analisi della valutazione (Tabella 128 e Figura 74, Figura 75 e Figura 76) è possibile trarre alcune considerazioni:

- Il **danno totale** vale 772 dovuti per l'82,51% alle emissioni dai veicoli a gas e per il 21,32% dai veicoli ad elettricità;
- Il danno è dovuto principalmente alla categoria di danno Resources (47%) e alla categoria di impatto Fossil Fuels 43,82%. Assai significativo è anche il

contributo della categoria Respiratory Inorganics 32,31%. In entrambi i casi il danno deriva principalmente dai motori a gas.

- Il danno complessivo è, comunque, il risultato anche della presenza di un guadagno di 95 punti pari al 13% del danno effettivo, ovvero 772 pt. Questo guadagno è generato principalmente dall'energia meccanica prodotta nei processi di combustione (vetture a gas) e di generazione di energia elettrica (vetture ad elettricità). Il riciclo delle vetture contribuisce per circa il 25% al guadagno complessivo.

Tabella 126 – LCA Traffico Feriale Autobus 2010 PD

SimaPro 5.0		Product stages	Date: 28/03/2003
Project: traffico Padova			Time: 14.58.41
Life cycle:			
Name	Comment		
+lca traffico feriale 2010 (autobus) PD	Ipotesi: nr autobus circolanti dalle 7,30 alle 19,30 è pari al nr di corse effettuate nello stesso lasso di tempo: 3124 area oggetto di studio: 6,38 kmq diametro del cerchio equivalente: 2,850 km numero di autobus del parco mezzi APS Mobilità: 301 km totali percorsi dagli autobus in una giornata: $3124 * 2.85 \text{ km} = 8903,4 \text{ km}$ percorsi da un autobus in una giornata: $8903,4 / 301 = 29.5$ Cicli di vita di autobus totali: $(301 \text{ autobus} / 750.000 \text{ km}) * 29,5 \text{ km} = 0,011839$		
Assembly	Amount	Unit	Comment
+autobus Menarini (metano) PD	0,011839	p	$(301 \text{ autobus} / 750.000 \text{ km}) * 29,5 \text{ km} = 0,011839$
Processes	Amount	Unit	Comment
+Bus (elettrico)	4439,75	km	$0.5 * 301 \text{ autobus} * 29.5 \text{ km} = 4439,75 \text{ km}$ (autobus elettrici)
+Bus (Gas) Euro 3	4439,75	km	$0.5 * 301 \text{ autobus} * 29.5 \text{ km} = 4439,75 \text{ km}$ (autobus a metano)
+costo energia elettrica per trazione autobus	4439,75	km	$0.5 * 301 \text{ autobus} * 29.5 \text{ km} = 4439,75 \text{ km}$
+costo Gas autobus Menarini PD	4439,75	km	$0.5 * 301 \text{ autobus} * 29.5 \text{ km} = 4439,75 \text{ km}$
+costo di manutenzione autobus PD	8903,4	km	$301 \text{ autobus} * 29.6 \text{ km} = 8903.4 \text{ km}$
+costo assicurazione bollo autobus 12mt PD	301	p	301 autobus
+costo totale autobus utenti 2010 PD	1	p	costo del biglietto per il numero totale di percorsi degli autobus durante 12 ore
+ricavo totale autobus utenti 2010 PD	1	p	ricavo dal biglietto per il numero totale di percorsi degli autobus durante 12 ore
+costo personale autobus APS PD	741	p	741 dipendenti mantenendo costante il rapporto dipendenti/autobus = 2.46
+costo per incidenti mortali autobus PD	0,011839	p	$(301 \text{ autobus} / 750.000 \text{ km}) * 29,5 \text{ km} = 0,011839$
+costo per incidenti non mortali autobus PD	0,011839	p	$(301 \text{ autobus} / 750.000 \text{ km}) * 29,5 \text{ km} = 0,011839$
+incidenti mortali autobus PD	0,011839	p	$(301 \text{ autobus} / 750.000 \text{ km}) * 29,5 \text{ km} = 0,011839$
+incidenti non mortali autobus PD	0,011839	p	$(301 \text{ autobus} / 750.000 \text{ km}) * 29,5 \text{ km} = 0,011839$
+energia meccanica autobus (metano) PD	4439,75	km	$0.5 * 301 \text{ autobus} * 29.5 \text{ km} = 4439,75 \text{ km}$ (autobus a metano)
+energia meccanica autobus (elettrico) PD	4439,75	km	$0.5 * 301 \text{ autobus} * 29.5 \text{ km} = 4439,75 \text{ km}$ (autobus elettrici)
Waste/Disposal scenario	Comment		
+disposal scenario autobus 2010 PD			

Parte II – Capitolo 4

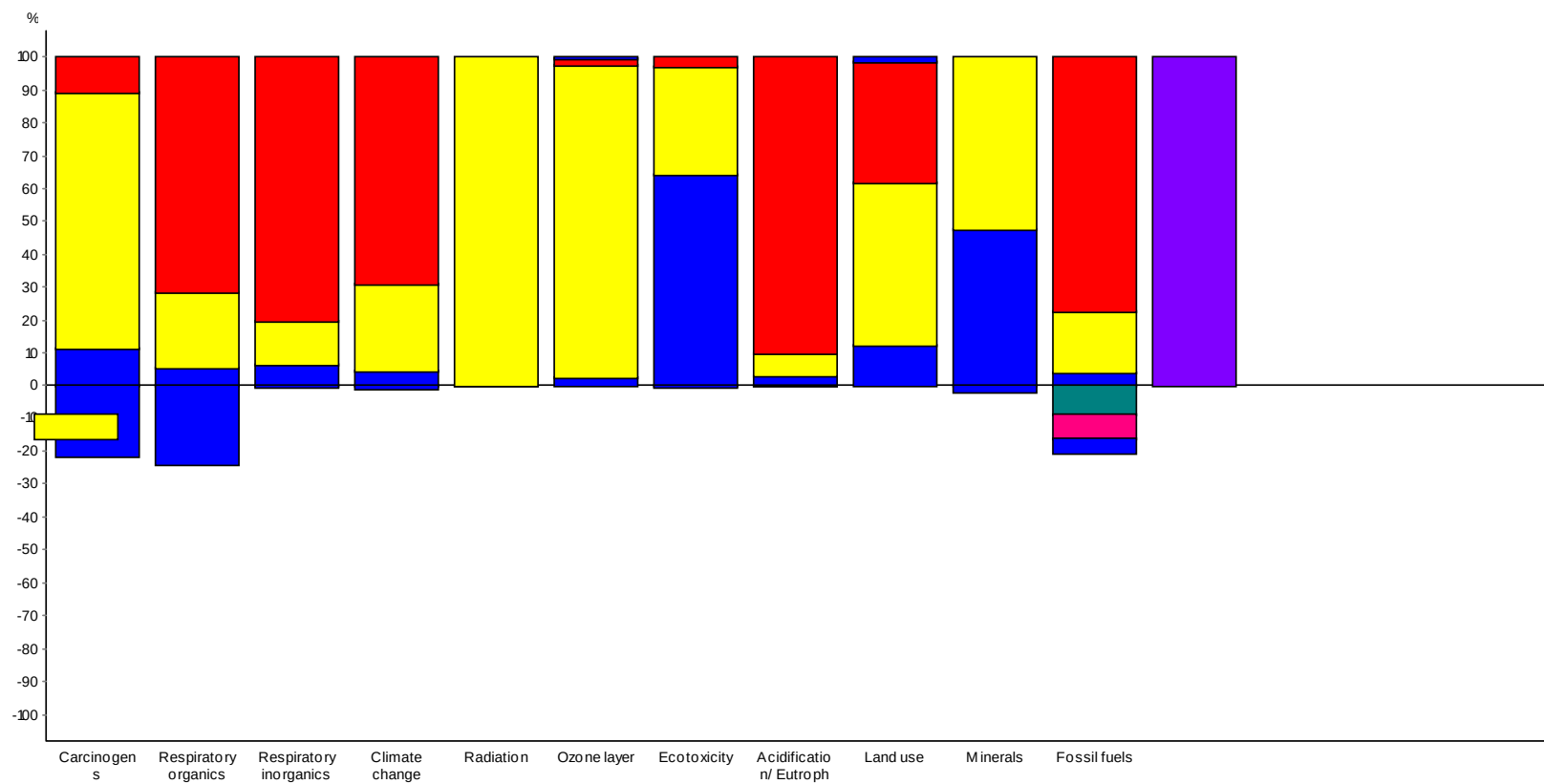
Tabella 127 - Caratterizzazione LCA Traffico Feriale Autobus 2010 PD

SimaPro 5.0	LCIA Profile	Date:	28/03/2003							
Project: traffico Padova		Time:	15.03.15							
Title:										
Method:	Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E									
Value:	Impact indicator									
Per impact category:	Yes									
Impact category	Unit	Total	+autobus Menarini (metano) PD	+Bus (elettrico)	+Bus (Gas) Euro 3	+costo energia elettrica per trazione autobus	+costo Gas autobus Menarini PD	+costo di manutenzione autobus PD	+costo assicurazione bollo autobus 12mt PD	+costo total autobus utenti 2010 PD
Carcinogens	DALY	3,25E-04	4,65E-05	3,25E-04	4,43E-05	x	x	x	x	x
Respiratory organics	DALY	1,59E-05	1,16E-06	4,78E-06	1,50E-05	x	x	x	x	x
Respiratory inorganics	DALY	1,29E-02	8,18E-04	1,72E-03	1,05E-02	x	x	x	x	x
Climate change	DALY	2,21E-03	1,04E-04	5,83E-04	1,55E-03	x	x	x	x	x
Radiation	DALY	2,68E-06	7,76E-11	2,68E-06	x	x	x	x	x	x
Ozone layer	DALY	2,82E-06	6,43E-08	2,68E-06	6,08E-08	x	x	x	x	x
Ecotoxicity	PAF*m2yr	1,99E+03	1,30E+03	6,60E+02	5,87E+01	x	x	x	x	x
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	7,29E+02	2,08E+01	5,19E+01	6,60E+02	x	x	x	x	x
Land use	PDF*m2yr	2,00E+02	2,40E+01	9,94E+01	7,35E+01	x	x	x	x	x
Minerals	MJ surplus	7,31E+02	3,59E+02	3,92E+02	x	x	x	x	x	x
Fossil fuels	MJ surplus	1,01E+04	5,08E+02	2,35E+03	9,84E+03	x	x	x	x	x
Costi individuali	euro	1,01E+05	x	x	x	x	x	x	x	101000
Incidenti	DALY	8,77E-06	x	x	x	x	x	x	x	x
Costi sociali	euro	-1,38E+04	3,50E+03	x	x	7,99E+02	1,79E+03	1290	3940	x
Disagio	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabella 127 - Caratterizzazione LCA Traffico Feriale Autobus 2010 PD (continua)

Impact category	Unit	+ricavo totale autobus utenti 2010 PD	+costo personale autobus APS PD	+costo per incidenti mortal autobus PD	+costo per incidenti non mortali autobus PD	+incidenti mortal autobus PD	+incidenti non mortali autobus PD	+energia meccanica autobus (metano) PD	+energia meccanica autobus (elettrico) PD	+disposal scenario autobus 2010 PD
Carcinogens	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,0000905
Respiratory organics	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,00000505
Respiratory inorganics	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,000148
Climate change	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,0000289
Radiation	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ozone layer	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	1,29E-08
Ecotoxicity	PAF*m2yr	x	x	x	x	x	x	x	x	-22
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	x	x	x	x	x	x	x	x	-3,72
Land use	PDF*m2yr	x	x	x	x	x	x	x	x	2,69
Minerals	MJ surplus	x	x	x	x	x	x	x	x	-19,9
Fossil fuels	MJ surplus	x	x	x	x	x	x	-1180	-934	-518
Costi individuali	euro	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Incidenti	DALY	x	x	x	x	0	0,00000877	x	x	x
Costi sociali	euro	-101000	75900	0	2,95	x	x	x	x	-11,8
Disagio	DALY	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Figura 73 - Caratterizzazione LCA Traffico Feriale Autobus 2010 PD



Analyzing 1p life cycle 'lca traffico feriale 2010 (autobus) PD'; Method: Eco-indicator 99 (E)CWM D / Europe EI99 E/E / characterization

Parte II – Capitolo 4

Tabella 128 - Valutazione LCA Traffico Feriale Autobus 2010 PD

SimaPro 5.0		LCIA Profile		Date:		28/03/2003				
Project: traffico Padova				Time:		15.04.32				
Method:				Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E						
Value:				Weighted indicator						
Per impact category:				Yes						
Relative mode:				Non						
Impact category	Unit	Total	+autobus Menarini (metano) PD	+Bus (elettrico)	+Bus (Gas) Euro 3	+costo energia elettrica per trazione autobus	+costo Gas autobus Menarini PD	+costo di manutenzione autobus PD	+costo assicurazione bollo autobus 12mt PD	+costo totale autobus utenti 2010 PD
Total	Pt	7,72E+02	6,50E+01	1,65E+02	6,37E+02	0,00E+00	0,00E+00	0	0	0
Carcinogens	Pt	6,30E+00	9,02E-01	6,30E+00	8,60E-01	x	x	x	x	x
Respiratory organics	Pt	3,08E-01	2,26E-02	9,29E-02	2,91E-01	x	x	x	x	x
Respiratory inorganics	Pt	2,49E+02	1,59E+01	3,34E+01	2,03E+02	x	x	x	x	x
Climate change	Pt	4,29E+01	2,01E+00	1,13E+01	3,01E+01	x	x	x	x	x
Radiation	Pt	5,20E-02	1,51E-06	5,20E-02	x	x	x	x	x	x
Ozone layer	Pt	5,47E-02	1,25E-03	5,21E-02	1,18E-03	x	x	x	x	x
Ecotoxicity	Pt	1,94E+01	1,26E+01	6,43E+00	5,73E-01	x	x	x	x	x
Acidification/ Eutrophication	Pt	7,10E+01	2,03E+00	5,06E+00	6,43E+01	x	x	x	x	x
Land use	Pt	1,95E+01	2,34E+00	9,69E+00	7,16E+00	x	x	x	x	x
Minerals	Pt	2,46E+01	1,21E+01	1,32E+01	x	x	x	x	x	x
Fossil fuels	Pt	3,38E+02	1,71E+01	7,90E+01	3,31E+02	x	x	x	x	x
Costi individuali	Pt	0,00E+00	x	x	x	x	x	x	x	0
Incidenti	Pt	1,70E-01	x	x	x	x	x	x	x	x
Costi sociali	Pt	0,00E+00	0,00E+00	x	x	0,00E+00	0,00E+00	0	0	x
Disagio	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabella 128 - Valutazione LCA Traffico Feriale Autobus 2010 PD (continua)

Impact category	Unit	+ricavo totale autobus utenti 2010 PD	+costo personale autobus APS PD	+costo per incidenti mortal autobus PD	+costo per incidenti non mortali autobus PD	+incidenti mortal autobus PD	+incidenti non mortali autobus PD	+energia meccanica autobus (metano) PD	+energia meccanica autobus (elettrico) PD	+disposal scenario autobus 2010 PD
Total	Pt	0	0	0	0	0	0,17	-39,6	-31,4	-23,7
Carcinogens	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	-1,76
Respiratory organics	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,0981
Respiratory inorganics	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	-2,86
Climate change	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,562
Radiation	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ozone layer	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	0,00025
Ecotoxicity	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,214
Acidification/ Eutrophication	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,362
Land use	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	0,263
Minerals	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,669
Fossil fuels	Pt	x	x	x	x	x	x	-39,6	-31,4	-17,4
Costi individuali	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Incidenti	Pt	x	x	x	x	0	0,17	x	x	x
Costi sociali	Pt	0	0	0	0	x	x	x	x	0
Disagio	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Figura 74 - Valutazione LCA Traffico Feriale Autobus 2010 PD

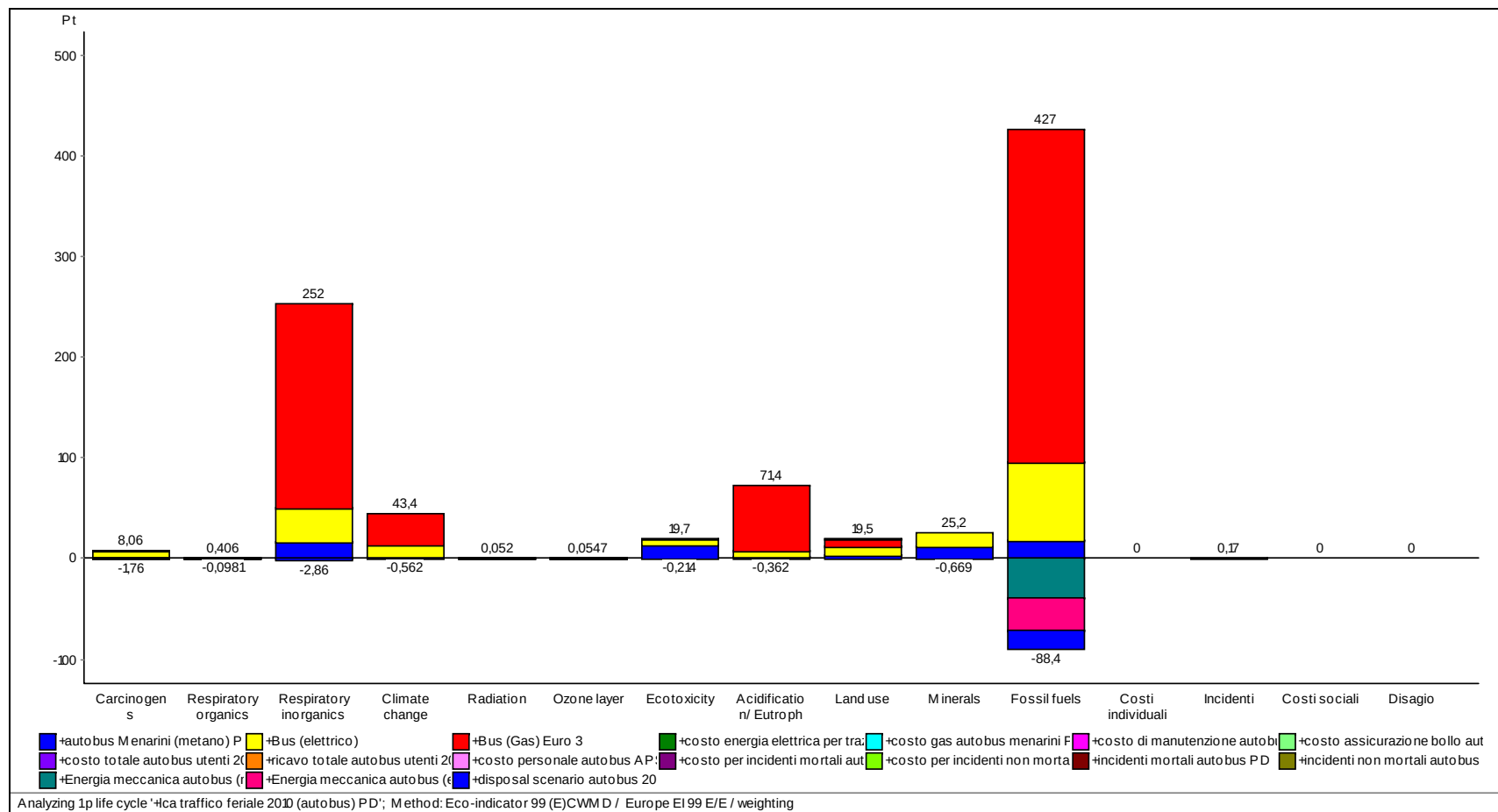


Figura 75 - Valutazione LCA Traffico Feriale Autobus 2010 PD, per categoria di Danno

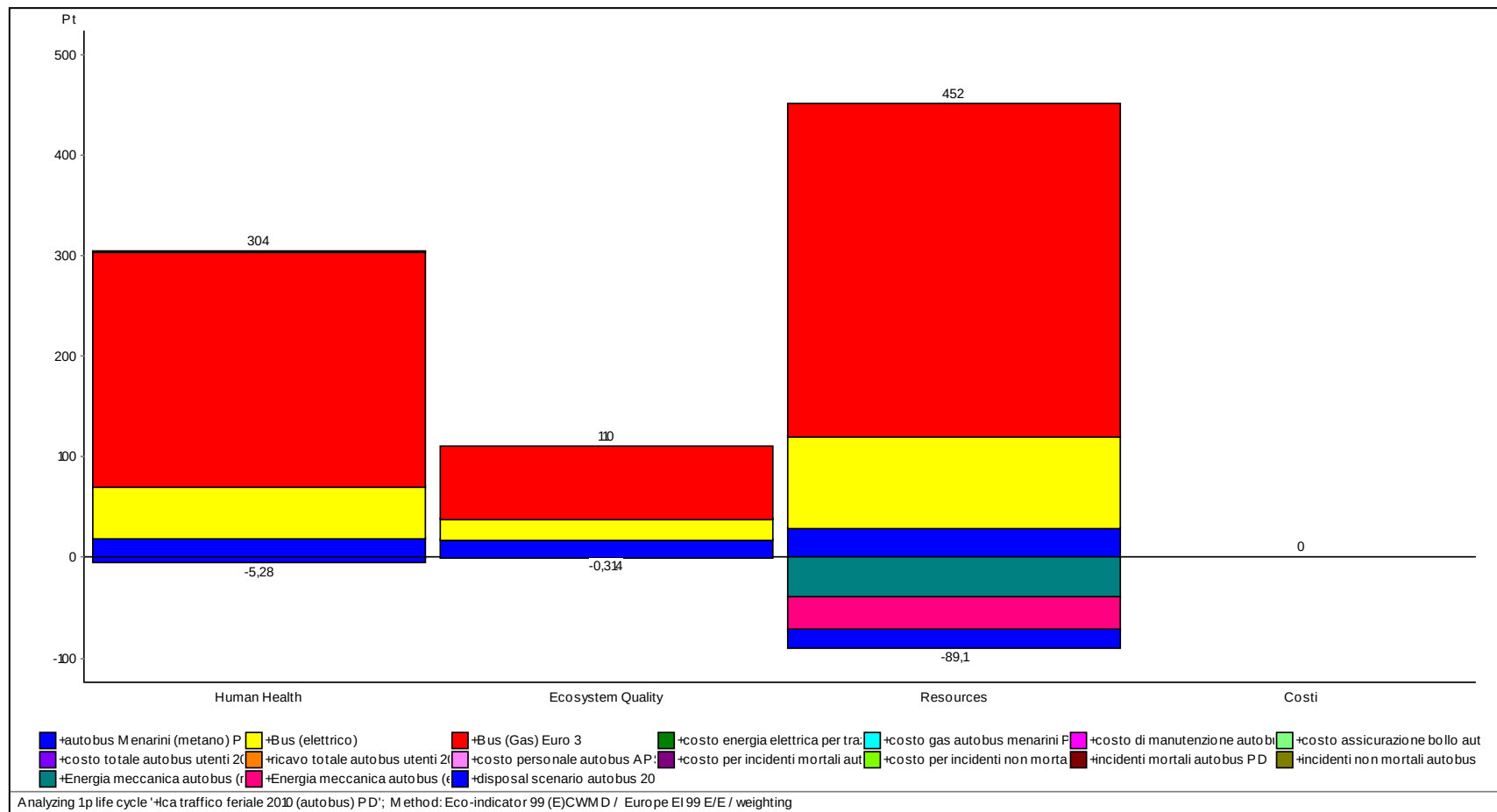
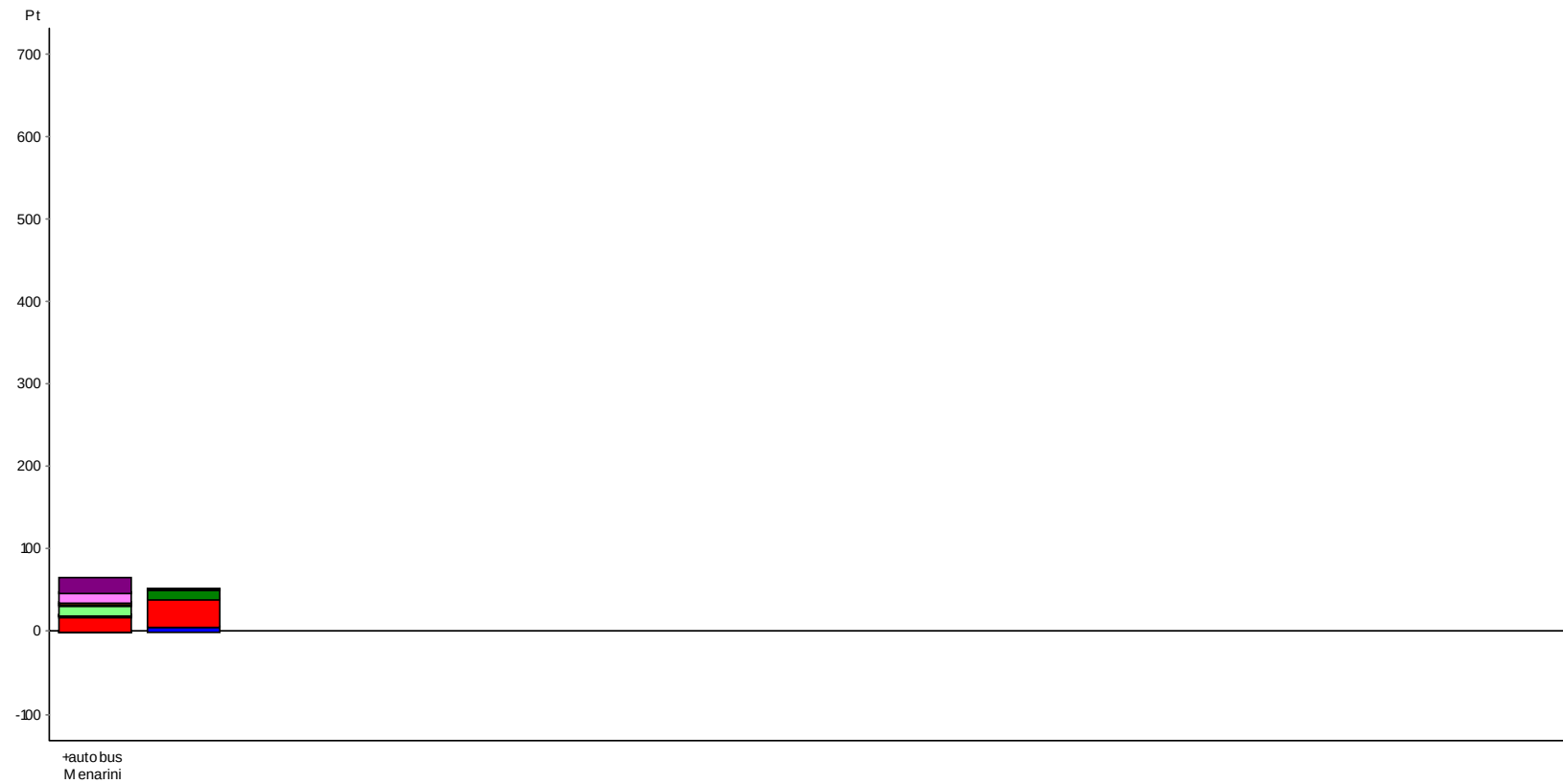


Figura 76 - Valutazione LCA Traffico Feriale Autobus 2010 PD, in base alle Componenti



Analyzing 1p life cycle +lca traffico feriale 2010 (auto bus) PD; Method: Eco-indicator 99 (E)CWM D / Europe EI99 E/E / single score

4.10 LCA del fine vita dei veicoli, Scenario 2010

4.10.1 *Introduzione*

La Direttiva europea 2000/53/CE del 18 settembre 2000 sui veicoli fuori uso ha fissato obiettivi di riciclaggio in peso dei veicoli, come evidenziato dalla seguente Tabella 129:

Tabella 129 - Obiettivi di riciclaggio previsti dall'Unione Europea

Vincolo temporale	Obiettivo di riciclo	Destino	
1/1/2006	85%	Min. 80% reimpiego e riciclo	5% recupero energetico
1/1/2015	95%	Min. 85% reimpiego e riciclo	10% recupero energetico

Poiché l'indicazione della politica comunitaria è chiara, è ipotizzabile che i costruttori di veicoli si adoperino per conformarsi alle prescrizioni in maniera proattiva, individuando soluzioni tecniche concrete e processi organizzativi e logistici che permettano di rendere economicamente sostenibile il processo. Ciò già avviene, per esempio, nell'ambito delle emissioni dove la normativa Euro 4, cui saranno soggetti i veicoli immessi sul mercato a partire dal 2005, è già stata recepita ed introdotta da alcuni costruttori.

Si ipotizza, pertanto, che al 2010 il riciclo/recupero di tutte le componenti del veicolo sia totale, intendendo con riciclo sia il riutilizzo del materiale ricondizionato (riuso o reimpiego), sia l'utilizzo di materie prime secondarie derivanti dalle componenti del veicolo (riciclo), sia infine il recupero energetico delle frazioni non riutilizzabili.

4.10.2 *Caratteristiche del fine vita*

4.10.2.1 I costi ed i ricavi del riciclaggio

Per i processi relativi ai costi ed ai ricavi connessi al riciclaggio, si confronti il Capitolo 3.9.2.1.

In Tabella 130 vengono indicati i costi amministrativi ed i guadagni complessivi per ogni categoria di veicoli.

Tabella 130 - Costi e guadagni dalle attività di rottamazione, Scenario 2010

	Costo		Peso	Guadagno	
	amministrativo		veicolo (kg)	da riciclaggio	
Autoveicoli	€	103,29	980	€	127,40
Motoveicoli	€	51,65	95	€	12,35
Veicoli Comm. Leggeri	€	103,29	1.500	€	195,00
Veicoli Comm. Pesanti	€	309,77	7.000	€	910,00
Autobus	€	550,00	12.000	€	1.560,00

4.10.2.2 Il riciclo

Per la valutazione dei processi di riciclo totale delle componenti costituenti i veicoli, è stato utilizzato il *waster scenario* Recycling Only con una quota del 100%. Questo scenario, già presente nella banca dati del codice, individua i materiali costituenti l'*assembly* del prodotto, il veicolo in questo caso, e calcola per ciascuno di esse gli impatti, positivi o negativi, connessi alle operazioni di riciclo in base alla percentuale stabilita.

4.10.3 La valutazione del disposal scenario 2010

In questo paragrafo si riassume i risultati dei calcoli relativi ai processi di riciclo totale dei veicoli utilizzati. Le attività di riciclo generano un guadagno, in termini di Eco-Punti oscillante tra 27%, dei veicoli commerciali pesanti, ed il 60% delle autovetture, rispetto ai valori espressi nel *Disposal Scenario* 2000. Il guadagno è dovuto, principalmente, alla minor energia utilizzata e alla conseguente minor necessità di combustibili fossili che ne deriva.

4.11 LCA del traffico complessivo di un giorno feriale, Scenario 2010

4.11.1 Introduzione

Analizzati nel dettaglio i singoli aspetti caratterizzanti ciascuna tipologia di veicoli, è stato realizzato un LCA complessivo che consente di valutare il fenomeno del traffico all'interno dell'area oggetto di studio sulla base delle ipotesi di riorganizzazione considerate. Il tree, rappresentato in Figura 77, consente di evidenziare i principali agenti di impatto nonché i flussi con cui essi si esprimono. In Tabella 131 è presentato, invece, lo schema di LCA Traffico complessivo 2010 PD.

Figura 77 - Dendrogramma di LCA Traffico complessivo 2010 PD

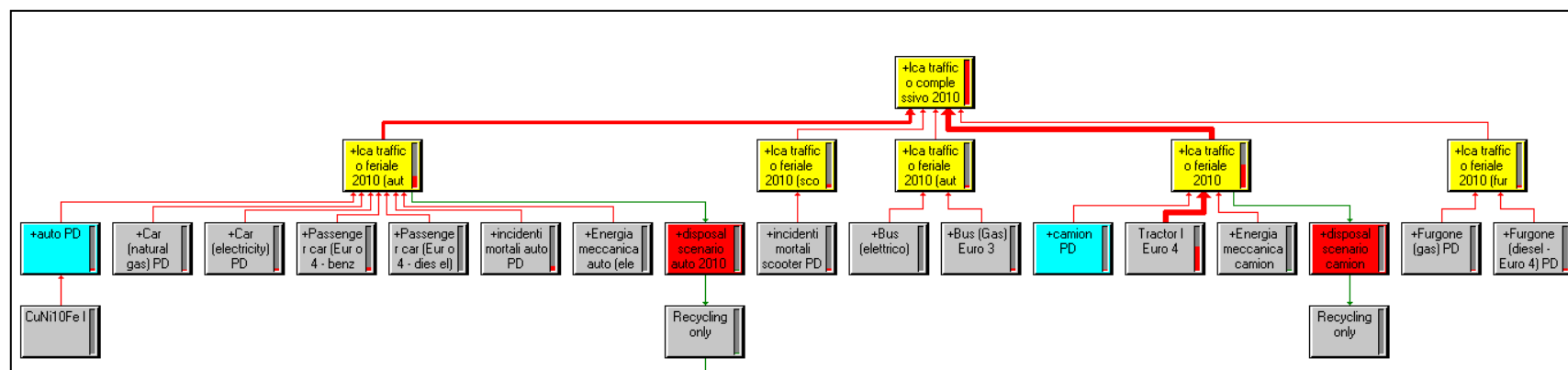


Tabella 131 - LCA Traffico complessivo 2010 PD

SimaPro 5.0	Product stages		Date:	28/03/2003
Project: traffico Padova			Time:	14.58.41
Life cycle:				
Name		Comment		
+lca traffico complessivo 2010 PD				
Processes	Amount	Unit	Comment	
+costo manutenzione asfalto PD	1	day	km di strade nel comune:725 km Quartieri della città: 7 km di strade per quartiere: 725 / 7 = 103.5 Manutenzione totale del manto stradale: 5 anni Km di cui viene fatta la manutenzione all'anno: 103.5 / 5 = 20.7 Km al giorno: 20.7 km / 365 = 0,057 km	
+manutenzione asfalto PD	0,057	km		
Additional life cycles		Number	Comment	
+lca traffico feriale 2010 (auto) PD	1	Auto		
+lca traffico feriale 2010 (scooter) PD	1	Scooter		
+lca traffico feriale 2010 (autobus) PD	1	Autobus		
+lca traffico feriale 2010 (camion) PD	1	Camion		
+lca traffico feriale 2010 (furgone) PD	1	Furgone		

4.11.2 Caratterizzazione di LCA Traffico Complessivo 2010

In Tabella 132 ed in Figura 78 sono riportati i risultati della caratterizzazione, da cui possiamo trarre le seguenti conclusioni¹⁰⁴:

- I **costi individuali totali** ammontano a 817.000 €. I contributi maggiori derivano dai processi dei camion (312.000 €), da quelli delle autovetture (309.000 €) e dagli autobus (101.000 €). Relativamente ai furgoni, essi incidono sul totale per il 9,83%, pari a 80.300 € mentre le 2 ruote incidono per 14.300 €, pari a 1.75%.
- I **costi sociali** presentano un saldo positivo per 7.520 €, dovuto quasi esclusivamente alle maggiori entrate connesse con l'aumentato numero di passeggeri. Si ha così che, a fronte di un ricavo per la società di gestione del TPL

¹⁰⁴ Per una definizione delle unità di misura adottate in fase di caratterizzazione e valutazione, cfr. § 1.4.5.

di 13.800 €, i costi esterni sono dovuti principalmente ai veicoli a 2 ruote (2.750 €), alla manutenzione stradale (2.360 €) e alle autovetture 1.320 €.

- Complessivamente il sistema sostiene nell'arco della giornata costi per il sistema dei trasporti pari a 809000 €. Considerando che il PIL della Provincia è pari a 19,332 miliardi di euro (fonte: CCIAA Provincia di Padova), l'incidenza dei costi è di circa 1,2% (moltiplicando il valore per il numero di giorni feriali supposto pari a 275 giorni), con una riduzione significativa dello 0,3% rispetto allo scenario individuato nel capitolo 3.
- L'impatto dovuto agli **incidenti** è pari a 0,114 DALY, ovvero 42 giorni. Il contributo maggiore è dato com'era prevedibile dalle autovetture con oltre il 62,1%, pari a 0,0706 DALY. Assai significativo il contributo delle 2 ruote con circa il 35,14, pari a 0,0399 DALY.
- Relativamente alla categoria di danno **Human Health**, che, escludendo gli impatti dovuti ad incidenti (il disagio non è più considerato), subisce danni per 0,236 DALY, pari a 86 giorni, la categoria di impatto più significativa è quella dei Respiratory Inorganics, con 0,196 DALY. I contributi maggiori derivano dai processi legati ai camion, con oltre 80%, pari a 0,157 DALY, e alle autovetture per quasi 11%, pari a 0,0211 DALY. In questo contesto, per l'aumento notevole di veicoli in circolazione e nonostante le modifiche sostanziali ai carburanti, assume una certa rilevanza l'impatto degli autobus con il 6,57% e un danno di 0,0129 DALY.
- La categoria di danno **Ecosystem Quality** presenta un danno di 19.500 PDF·m2·y. L'impatto maggiore è dovuto alla categoria Acidification/Eutrophication con 11.000 PDF·m2·y. Le categorie di impatto Land Use e

Ecotoxicity presentano danni fra loro paragonabili, rispettivamente, di 4.790 e 3.640 PDF·m²·y.

- Nella categoria di danno **Resources**, il danno complessivo è stimato in 144.000 MJ Surplus. L'incidenza maggiore è dovuta alla categoria di impatto Fossil Fuels con 136.000 MJ Surplus. I contributi maggiori derivano dai processi relativi all'automobile 30.100 MJ Surplus, pari a quasi il 22,18% del totale della categoria, a quelli dei camion 79.600 MJ Surplus, pari a quasi il 58,75%. Autobus e furgoni incidono in modalità analoghe con 10.100 MJ Surplus (pari al 7,43%) e con 11.100 MJ Surplus (pari al 8,21%). Infine da sottolineare come i processi connessi alla manutenzione stradale incidano più dei veicoli a 2 ruote, 2.820 contro 1.820 MJ Surplus.

4.11.3 Valutazione di LCA Traffico Complessivo 2010

In Tabella 133 ed in Figura 79 sono riportati i risultati della valutazione, da cui possiamo trarre le seguenti conclusioni¹⁰⁵:

- il **danno** totale vale 13.500 Pt dovuto per il 27,1% alle auto e per il 53,46% ai camion.
- il danno causato dai furgoni ed dagli autobus è dovuto principalmente ai Fossil Fuels (374 Pt per i furgoni, 338 Pt per gli autobus), quello causato dai camion è dovuto principalmente ai Respiratory Inorganics 3.040 Pt.
- il danno dovuto ai veicoli a 2 ruote ed alle auto è dovuto principalmente agli Incidenti con, rispettivamente 775 Pt e 1.370 Pt. Tuttavia il confronto tra questa categoria di impatto e le altre si riferisce a insiemi diversi: Padova per la categoria Incidenti, l'Europa per le altre categorie.

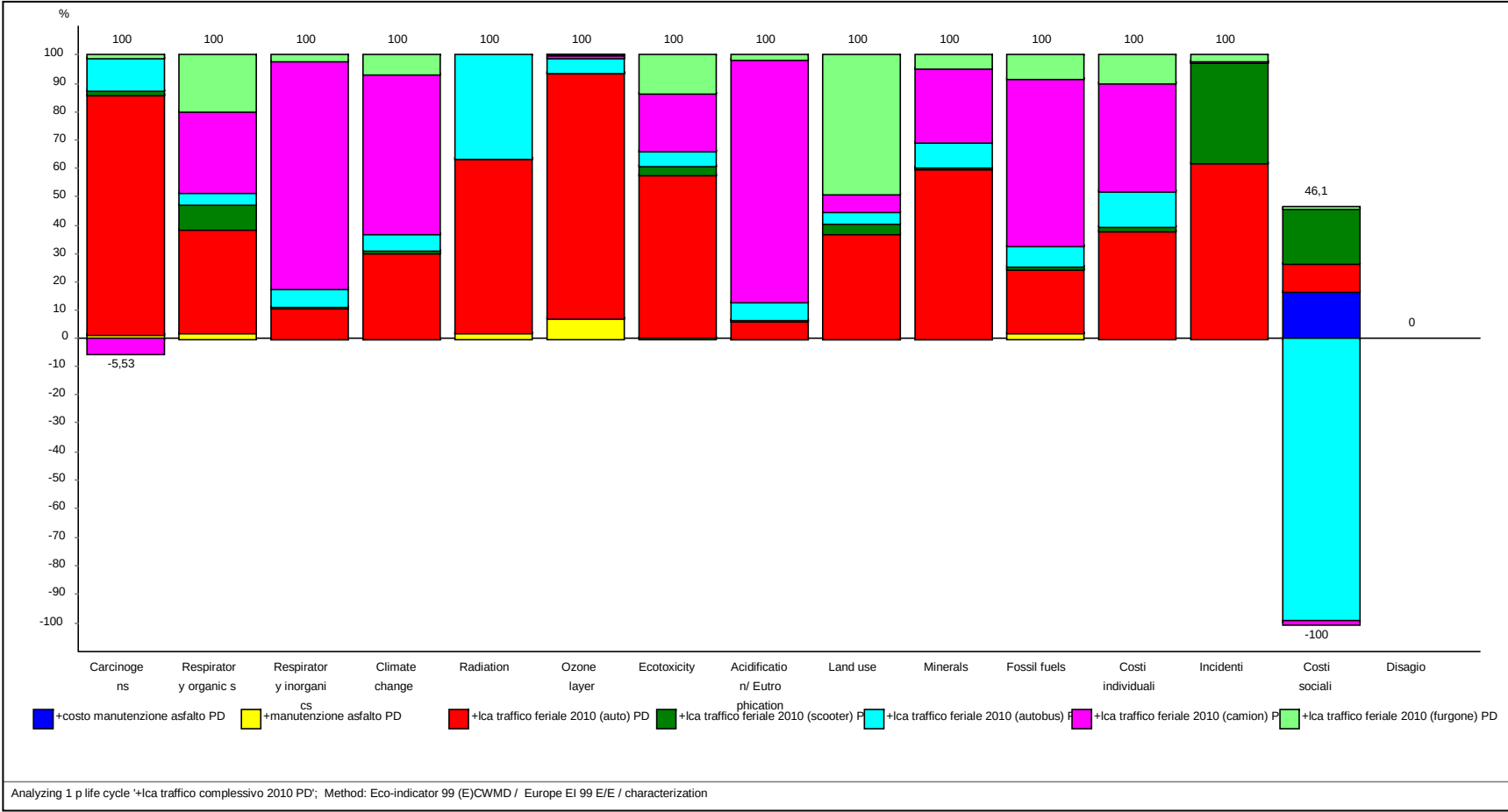
¹⁰⁵ Per una definizione delle unità di misura adottate in fase di caratterizzazione e valutazione, cfr. § 1.4.5.

- In generale il contributo maggiore al totale del danno è dovuto alle categorie di impatto Fossil Fuels (4.550 Pt, pari al 33,64%) e Respiratory Inorganics (3.800 Pt, pari al 28,07%). Seguono la categoria di impatto Incidenti con 2.210 Pt, pari al 16,3%, Acidification/Eutrophication con circa 8%, pari a 1.080 Pt.
- Altro dato significativo per gli obiettivi di Kyoto è l'apporto ai cambiamenti climatici, stimato nell'ordine del 5,42% sul totale dei danni, pari a 734 Pt, dovuto principalmente ai camion con 409 Pt e alle auto con 219.

Tabella 132 - Caratterizzazione di LCA Traffico complessivo 2010 PD

SimaPro 5.0	LCIA Profile	Date:	06/10/2003	Time:	16.05.33
Method:	Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E				
Value:					

Figura 78 – Caratterizzazione di LCA traffico complessivo 2010 PD

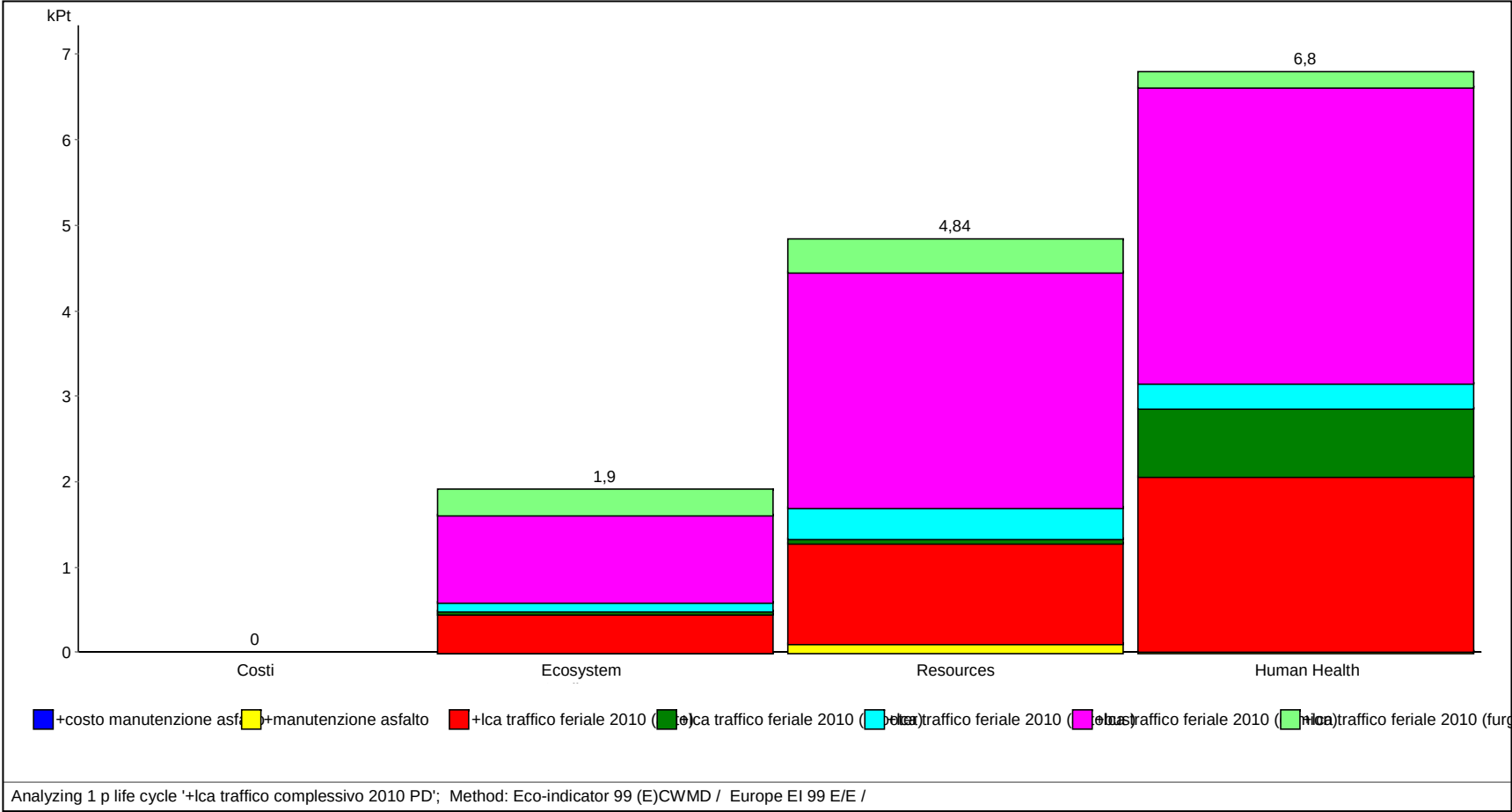


Parte II – Capitolo 4

Tabella 133 - Valutazione di LCA traffico complessivo 2010 PD

SimaPro 5.0		LCIA Profile	Date:	06/10/2003	Time:	16.05.59			
Method:		Eco-indicator 99 (E)CWMD / Europe EI 99 E/E							
Value:		Single score							
Impact category	Unit	Total	+costo manutenzione asfalto PD	+manutenzione asfalto PD	+lca traffico feriale 2010 (auto) PD	+lca traffico feriale 2010 (scooter) PD	+lca traffico feriale 2010 (autobus) PD	+lca traffico feriale 2010 (camion) PD	+lca traffico feriale 2010 (furgone) PD
Total	Pt	1,35E4	0	107	3,67E3	897	772	7,24E3	855
Carcinogens	Pt	50,1	x	0,895	44,6	0,761	6,3	-2,93	0,447
Respiratory organics	Pt	7,66	x	0,155	2,78	0,683	0,308	2,2	1,52
Respiratory inorganics	Pt	3,8E3	x	6,1	409	16,3	249	3,04E3	73,8
Climate change	Pt	734	x	1,58	219	9,61	42,9	409	51,3
Radiation	Pt	0,143	x	0,0033	0,0875	0,00029	0,052	x	x
Ozone layer	Pt	0,992	x	0,074	0,854	0,000979	0,0547	0,00561	0,00218
Ecotoxicity	Pt	355	x	1,01	204	10,9	19,4	72,5	47,3
Acidification/ Eutrophication	Pt	1,08E3	x	1,07	66,3	4,56	71	916	18,3
Land use	Pt	467	x	0,494	173	16	19,5	29,1	229
Minerals	Pt	285	x	0,675	170	2,06	24,6	74,2	13,7
Fossil fuels	Pt	4,55E3	x	94,8	1,01E3	61,3	338	2,68E3	374
Costi individuali	Pt	0	x	x	0	0	0	0	0
Incidenti	Pt	2,21E3	x	x	1,37E3	775	0,17	15,2	45,3
Costi sociali	Pt	0	0	x	0	0	0	0	0
Disagio	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x

Figura 79 - Valutazione di LCA traffico complessivo 2010 PD



5 Considerazioni conclusive e commenti

*Diventerà molto vecchio.
Guida come se non avessero ancora inventato la fretta.
(Manuel Vázquez Montalbán –
Gli uccelli di Bangkok)*

5.1 Confronto tra i due scenari realizzati

La metodologia adottata consente un agevole confronto tra i due scenari presentati e permette di evidenziare i principali miglioramenti ottenuti, siano essi economici o ambientali, a seguito delle ipotesi di riorganizzazione effettuate nello scenario riconducibile al 2010.

Nelle Tabella 134, Tabella 135 e in Figura 80, Figura 81, Figura 82 e Figura 83 sono riportati i principali risultati del confronto tra i due *life cycle* considerati.

Dall'analisi dei risultati relativi alla caratterizzazione si possono trarre le seguenti conclusioni:

- Tutte le classi di impatto che costituiscono la categoria **Human Health** mostrano una riduzione dei valori in termini assoluti. Il danno totale, esclusa la categoria Incidenti, diminuisce da 0,793 a 0,236 DALY, con un guadagno di 0,557 DALY. Se moltiplichiamo questo valore per i giorni di un anno, otteniamo i giorni di vita guadagnati complessivamente dalla popolazione europea, quindi avremo: 203 giorni di vita guadagnati;
- Anche le classi di impatto, che costituiscono la categoria **Ecosystem Quality**, presentano valori minori nell'elaborazione dello scenario del 2010. Il valore

complessivo passa da 43.700 PDF·m²·y a 19.500 PDF·m²·y, con un guadagno di 24.200 PDF·m²·y;

- Per ciò che attiene alla categoria di danno **Resources**, il danno complessivo diminuisce, passando da 265.000 MJ surplus della situazione attuale a 144.000 MJ surplus dello scenario proposto per il 2010, ottenendo così un guadagno di 121.000 MJ surplus. In particolare per i Fossil Fuels si ha una riduzione di 120.000 MJ surplus;
- Il danno dovuto alla categoria di danno **Incidenti** diminuisce da 0,161 a 0,114 DALY; questo in ragione della riduzione proposta del 30% dei veicoli circolanti, esclusi i mezzi pubblici. Questa diminuzione comporta un guadagno di giorni di vita pari a 17,16. Il valore ottenuto rappresenta, in questo caso, il numero di giorni guadagni da tutte le persone che circolano in un giorno feriale all'interno del centro di Padova;
- Il danno dovuto al **Disagio** si annulla completamente a seguito delle ipotesi fatte in base alle quali, grazie alla riorganizzazione/razionalizzazione proposta, non si prevedono condizioni tali da far supporre situazioni di congestionamento del traffico.

Un'analisi più specifica deve essere realizzata per quanto attiene i costi sociali e quelli individuali, dato che essi rappresentano la componente fondamentale della valutazione economica del *life cycle*.

Il fattore legato ai **Costi Sociali** realizza la migliore performance in termini qualitativi più che quantitativi: esso nella caratterizzazione iniziale ha un valore di 41.400 € e a seguito dello scenario proposto passa a -7.520 €. Il valore negativo indica un guadagno per il sistema poiché la metodologia analizza i costi. Sebbene il

vantaggio giornaliero sia di entità limitata in termini assoluti, il suo valore è assai più significativo se ne viene valutato il significato economico: esso, infatti, dimostra la sostenibilità economica degli interventi proposti perché evidenzia un bilancio positivo per la collettività e consente di affermare che le ipotesi di riorganizzazione portano ad un sistema autonomo dal punto di vista finanziario, almeno per quanto attiene il valore economico complessivo.

Tra le spese che hanno subito il maggiore aumento vi sono i costi relativi all'aumento del personale APS, che passando da 506 a 741 dipendenti comporta una spesa aggiuntiva di 24.100 €; altri costi che subiscono un aumento sono quelli relativi alla spesa per il bollo e l'assicurazione, dovuto all'aumento del numero di autobus, e quelli relativi all'acquisto dei nuovi bus, a causa del maggiore costo del mezzo a metano e al maggior quantitativo di veicoli.

Le componenti, che hanno contribuito maggiormente alla realizzazione del guadagno nella categoria dei Costi sociali, sono rappresentate dall'incremento del ricavo derivante dalla vendita dei biglietti per il trasporto, con un aumento pari a 52.000 € e dalla riduzione dei costi legati ad incidenti, mortali e non, derivanti dall'uso dell'automobile e dei motoveicoli. E' opportuno ricordare che nello studio i costi dell'Azienda APS Mobilità sono stati considerati costi sociali perché, pur essendo una Società per Azioni, percepisce dal Comune di Padova contributi pubblici, quindi il suo risultato di gestione è collegabile in modo indiretto alla spesa sostenuta dalla collettività.

Per quanto riguarda la categoria dei **Costi individuali** si può affermare che nella situazione proposta si è avuta una riduzione dei valori per tutte le tipologie di costi, ottenendo pertanto un guadagno totale di 263.000 €.

Dall'analisi dei risultati della valutazione si ha che il valore del danno totale, in termini di punti (Pt), passa da 28.900 Pt a 13.500 Pt, con un guadagno di 15.400 Pt.

La riduzione maggiore si ha nelle categorie di danno Human Health e Resources, dove si ha un guadagno totale rispettivamente pari a 8.900 Pt e 4.050 Pt; in entrambi i casi il risultato è attribuibile sia alla riduzione del numero dei veicoli privati circolanti (automobili, motoveicoli, furgoni, camion), sia all'utilizzo di nuove tipologie di combustibile (metano e elettricità).

Tabella 134 - Caratterizzazione del confronto

Impact category	Unit	LCA Traffico Complessivo 2000	LCA Traffico Complessivo Scenario 2010
Carcinogens	DALY	0,0058	0,0026
Respiratory organics	DALY	0,0011	0,0004
Respiratory inorganics	DALY	0,5750	0,1960
Climate change	DALY	0,0653	0,0378
Radiation	DALY	0,0000	0,0000
Ozone layer	DALY	0,0002	0,0001
Ecotoxicity	PAF*m2yr	69300	36400
Acidification/Eutrophication	PDF*m2yr	30400	11000
Land use	PDF*m2yr	6430	4790
Minerals	MJ surplus	8630	8480
Fossil fuels	MJ surplus	256000	136000
Costi individuali	euro	1080000	817000
Incidenti	DALY	0,1610	0,1140
Costi sociali	euro	41400	-7520
Disagio	DALY	0,0023	x

Tabella 135 - Valutazione del confronto

Impact category	Unit	LCA Traffico Complessivo 2000	LCA Traffico Complessivo Scenario 2010
Total	Pt	2,89E+04	1,35E+04
Carcinogens	Pt	112	50,1
Respiratory organics	Pt	21,6	7,66
Respiratory inorganics	Pt	1,12E+04	3,80E+03
Climate change	Pt	1,27E+03	734
Radiation	Pt	0,326	0,143
Ozone layer	Pt	3,41	0,992
Ecotoxicity	Pt	676	355
Acidification/ Eutrophication	Pt	2,96E+03	1,08E+03
Land use	Pt	627	467
Minerals	Pt	290	285
Fossil fuels	Pt	8,60E+03	4,55E+03
Costi individuali	Pt	0	0
Incidenti	Pt	3,13E+03	2,21E+03
Costi sociali	Pt	0	0
Disagio	Pt	45,4	x

Figura 80 - Caratterizzazione del confronto fra i due scenari proposti

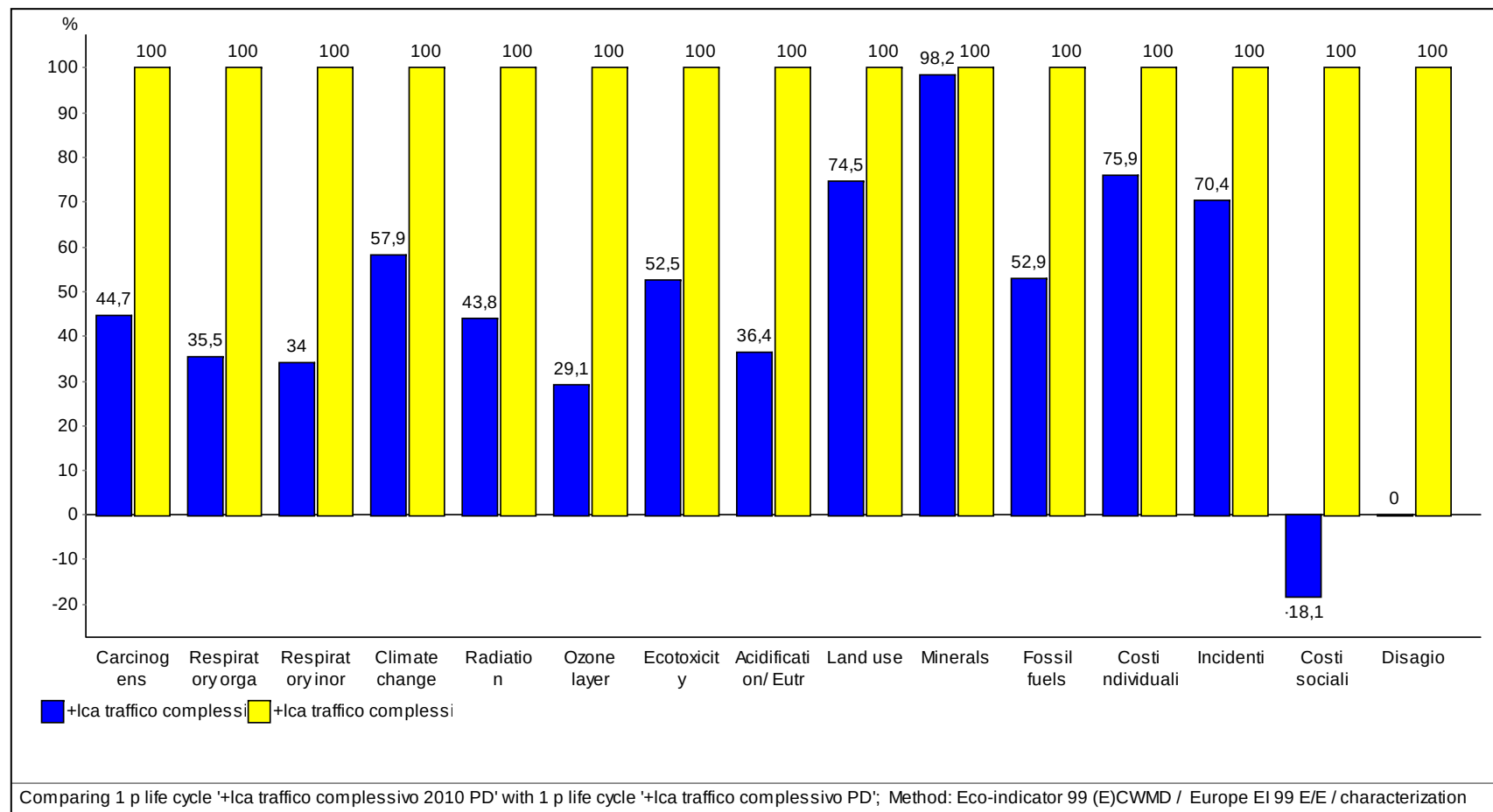


Figura 81 - Valutazione del confronto fra i due scenari proposti

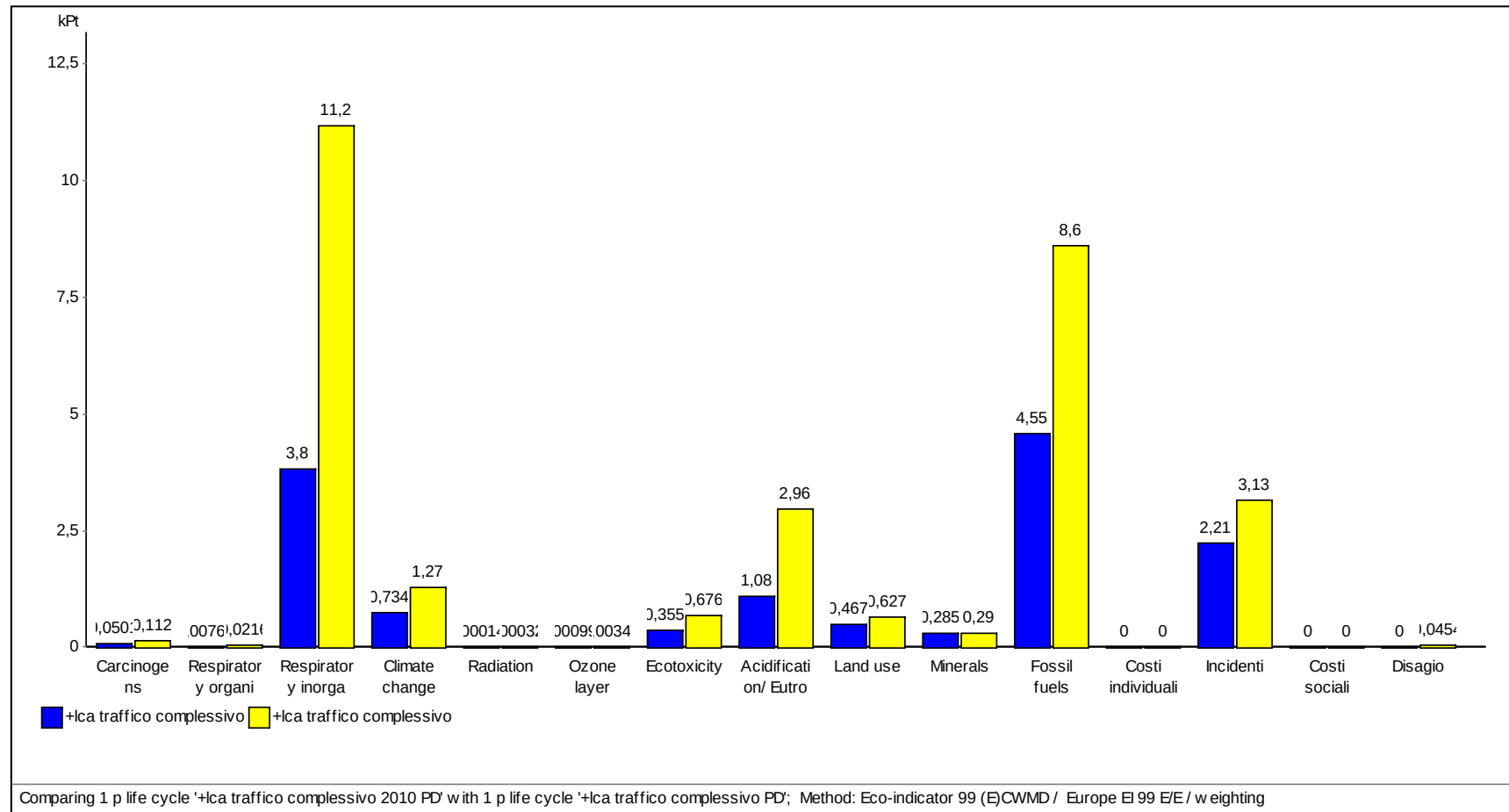


Figura 82 - Valutazione del confronto fra i due scenari proposti, per categorie di danno

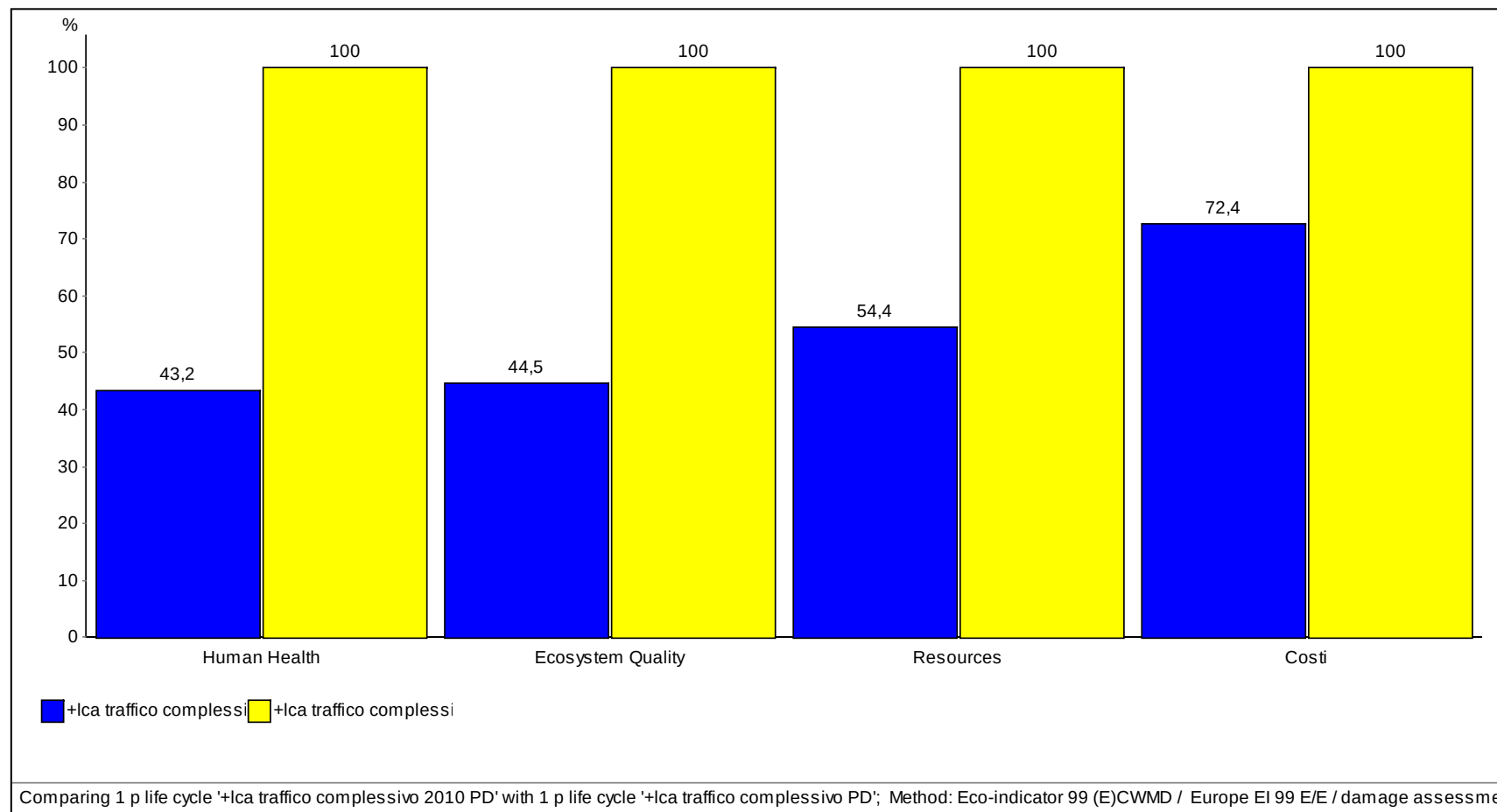
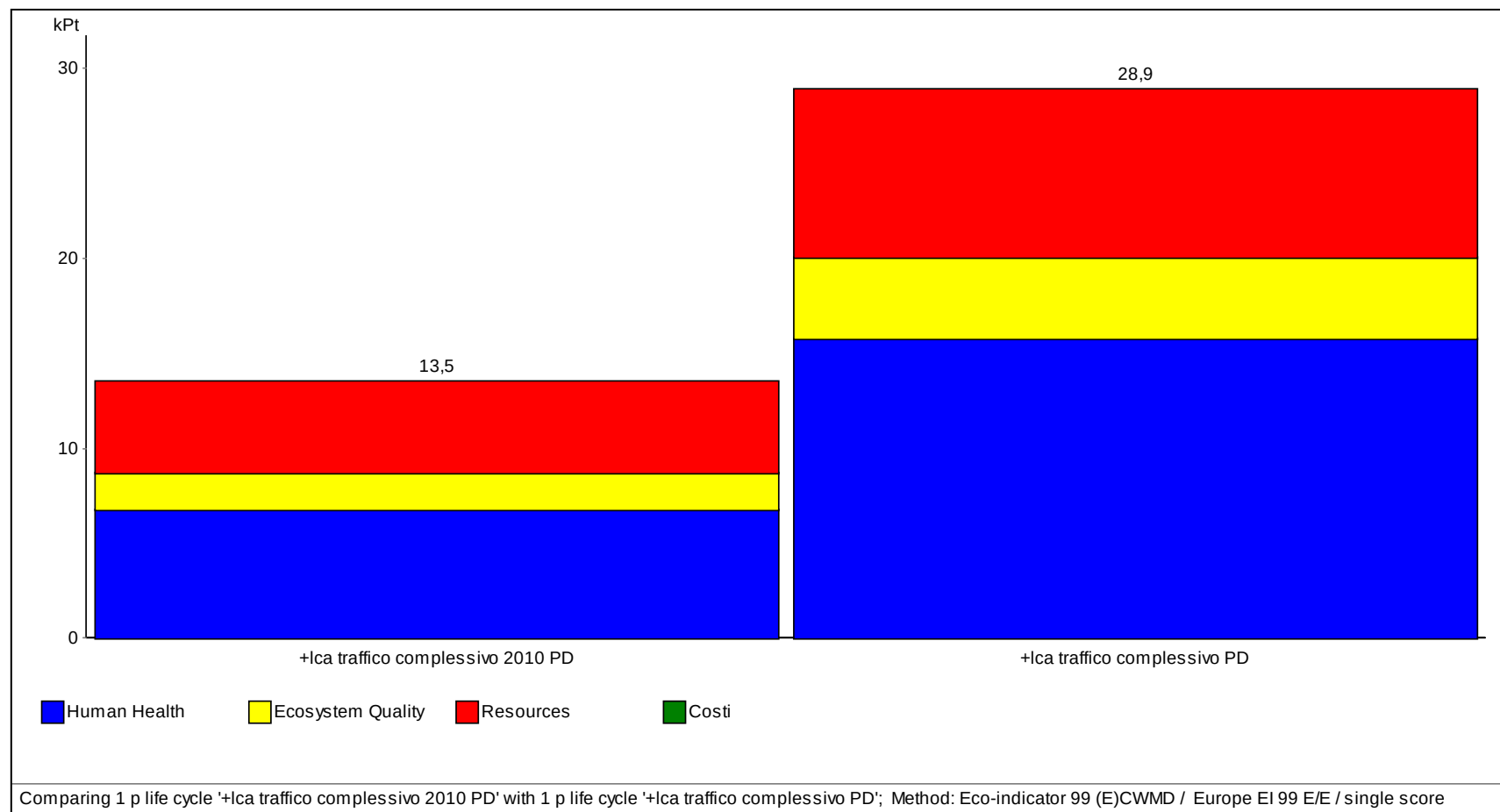


Figura 83 - Valutazione complessiva del confronto fra i due scenari proposti



5.2 Valutazione economica e monetizzazione dei vantaggi economici e ambientali

Questo paragrafo è dedicato alla realizzazione di un quadro di sintesi che permetta di mettere in evidenza tutti i vantaggi, economici ed ambientali, che è possibile realizzare con l'attuazione delle proposte inserite all'interno dello scenario del traffico urbano relativo allo scenario del 2010, monetizzando anche quei guadagni che derivano da costi economici non considerati dal codice di calcolo utilizzato (SimaPro 5.0).

Il guadagno sui costi individuali è reale solo se la diminuzione dei veicoli circolanti è reale, cioè se diminuisce anche il numero di veicoli acquistati (auto, moto, furgoni, camion). Il risultato economico ottenuto è stato infatti prodotto sia dall'uso di nuove tipologie di combustibili meno impattanti e con costi più contenuti (metano e elettricità), sia con una riduzione effettiva dei veicoli circolanti del 30%. Nello scenario del traffico proposto per il 2010, le movimentazioni dei costi sociali e di quelli individuali fanno sì che l'ammontare delle risorse economiche globalmente impiegate in una giornata feriale siano minori di quelle utilizzate nella situazione di traffico attuale. La riduzione in valore assoluto è pari a 311.000 €, quindi con le modifiche apportate si ha un guadagno economico sensibile.

Il guadagno sui costi sociali, in realtà, è maggiore di quello calcolato, questo perché all'interno del codice di calcolo utilizzato (SimaPro 5.0) non sono stati considerati i costi economici della salute umana (*Human Health*), della qualità dell'ecosistema (*Ecosystem Quality*) e delle risorse (*Resources*).

È possibile, tuttavia, tentare di quantificare al livello monetario il guadagno di queste tre categorie di danno, espresse rispettivamente in DALY, PDF·m²·y e MJ surplus, pur premettendo che le scelte adottate sono del tutto opinabili e consentono esclusivamente una valutazione di massima.

5.2.1 Monetizzazione del DALY

Lo scenario del traffico proposto per il 2010 conduce ad un guadagno per la salute umana (Human Health) della comunità europea di 0,461 DALY, comprensivo dei danni dovuti agli incidenti, pari 168,2 giorni di vita. Per poter quantificare questo guadagno si ipotizza che la metà di questi giorni (84,1) siano di degenza in ospedale, quindi sapendo che un giorno di degenza costa alla collettività 361,52 €, il ricavo sarebbe di:

$$84,1 \text{ d} \cdot 361,52 \text{ €} = 30.403,83 \text{ €}$$

Si suppone che i restanti 84,1 giorni siano persi a causa della morte di un individuo. Si ipotizza che il valore di un anno di vita di un cittadino medio sia uguale al valore annuo della produzione del soggetto, inteso come quota del prodotto interno lordo italiano (PIL), che nella fattispecie viene equiparato a quello europeo per facilitarne il calcolo. Sapendo che il valore del PIL italiano del 2002 è pari a 1.240 miliardi di € e che in Italia vivono 57 milioni di persone, si ottiene che il valore della produzione annua di un singolo individuo è pari a

$$1,24 \cdot 10^{12} \text{ €} / (57 \cdot 10^6) \text{ ab.} = 21.754,38 \text{ €}$$

Da ciò consegue che 84,1 giorni di vita guadagnati valgono:

$$21.754,38 \text{ €} / 365 \text{ d} \cdot 84,1 \text{ d} = 5.012,45 \text{ €}$$

Si può concludere affermando che il risparmio di 168,2 giorni di vita, dovuto alle modifiche dello scenario del traffico proposto, comportano un guadagno totale pari a:

$$30.403,83 \text{ €} + 5.012,45 \text{ €} = 35.416,28 \text{ €}.$$

5.2.2 Monetizzazione del $PDF \cdot m^2 \cdot y^{106}$

L'estrema complessità insita nella determinazione dei valori legati alla qualità dell'ecosistema (Ecosystem Quality), comporta un'estrema difficoltà nell'individuazione di parametri oggettivi che consentano di monetizzare, in modo altrettanto preciso ed univoco come le altre due categorie di danno non monetarie, il guadagno in corrispondente ad un certo punteggio espresso in $PDF \cdot m^2 \cdot y$. Esso rappresenta, infatti, una grandezza che può essere in qualche modo riconducibile alla percentuale di specie animali e vegetali a rischio di estinzione, nell'ambito dell'intera Europa continentale, a seguito degli impatti derivanti dalle attività studiate.

Come la stessa unità di misura suggerisce, il valore percentuale (PDF – Potentially Disappeared Fraction) è moltiplicato per una grandezza areale e per un tempo, aumentando sensibilmente la complessità di valutazione e di interpretazione. È bene, infatti, sottolineare come la stessa metodologia LCA e i parametri ideati dalla *Prè* ed utilizzati nel codice di calcolo, abbiano più lo scopo di consentire un confronto tra processi diversi o di rilevare i miglioramenti di performance connessi all'utilizzo di modalità operative o materiali, in senso lato, alternativi, che non di quantificare in termini assoluti gli impatti.

Questo è ancora più evidente, se si considera che le grandezze utilizzate per esprimere i risultati (DALY, $PDF \cdot m^2 \cdot y$ e MJ Surplus) sono suscettibili di critiche e di valutazioni discordanti in quanto non standardizzate a livello internazionale.

¹⁰⁶ Per una esauriente disamina dei principali risultati sullo studio del valore economico di un ecosistema, si cfr.:

- Paulo A.L.D. Nunes, Jeroen C.J.M. van den Bergh, *Economic valuation of biodiversity: sense or nonsense?*, in *Ecological Economics*, Vol. 39, pag. 203 - 222, 2001;
- J. Lewandrowski, R.F. Darwin, M. Tsigas, A. Raneses, *Estimating costs of protecting global ecosystem diversity*, in *Ecological Economics*, Vol. 29, pag. 111 - 125, 1999;
- G. Cornelis van Kooten, *Economics of conservation biology: a critical review*, in *Environmental Science & Policy*, Vol. 1, pag. 13 - 25, 1998;
- Peter J. Edwards, Cyrus Abivardi, *The value of biodiversity: where ecology and economy blend*, in *Biological Conservation*, Vol. 83. n° 3, pag. 239 - 246, 1998;
- Robert Costanza, Ralph d'Arge, Rudolf de Groot, Stephen Farber, Monica Grasso, Bruce Hannon, Karin Limburg, Shahid Naeem, Robert V. O'Neill, Jose Paruelo, Robert G. Raskin, Paul Sutton, Marjan van den Belt, *The value of ecosystem services: putting the issues in perspective*, in *Ecological Economics*, Vol. 25, pag. 67-72, 1998;

Ciò rappresenta un limite per quanto attiene la valenza assoluta di qualunque studio effettuato con gli strumenti adoperati per il presente lavoro ma consente, in ogni caso, di assolvere lo scopo principale per cui la metodologia LCA è stata creata, ossia il confronto.

Valutare in termini strettamente economici la qualità dell'ecosistema rappresenta, pertanto, un obiettivo assai arduo da raggiungere e le cui conclusioni non possono, per la complessità intrinseca del fenomeno studiato, essere univoche. Gli approcci adottati spaziano dall'analisi dei costi per la preservazione di particolari specie animali, allo studio del valore economico dei geni presenti negli organismi passibili di estinzione, dalla stima del costo per la protezione di un particolare ecosistema ai vantaggi derivanti dai "servizi ecologici", ossia quelle attività che un ecosistema effettua e che possono essere ricondotti ad un servizio utile all'uomo (in questo caso, l'esempio più emblematico è, forse, l'effetto di depurazione dell'aria da parte di un bosco o una foresta). Infine, assai utilizzata è anche la quantificazione del piacere che un ipotetico turista potrebbe provare nell'ammirare o percorrere un paesaggio incontaminato.

Come è stato evidenziato, quindi, non risulta possibile valutare in modo univoco il parametro $\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{y}$ a meno di non analizzare nel dettaglio il reale significato di questa grandezza ma questo non è lo scopo del presente studio.

5.2.3 Monetizzazione del MJ Surplus

La proposta individuata conduce ad un guadagno sulle risorse consumate (*Resources*) dalla comunità europea di 121.000 MJ surplus. Se si considera il costo di 1 kWh pari a 0,18 €/kWh e si considera l'equivalenza tra kWh e MJ

$$4.500 \text{ kWh} = 16,2 \cdot 10^3 \text{ MJ} \Rightarrow 1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$$

si ottiene:

$$121.000 \text{ MJ} / 3,6 \text{ MJ/kWh} \cdot 0,18 \text{ €} = 6.050 \text{ €}.$$

5.2.4 Valorizzazione complessiva dei guadagni

Dopo aver effettuato la monetizzazione del guadagno ottenuto anche da due delle tre categorie di danno (*Human Health, Resources*) prese in considerazione nella realizzazione di questo studio, si può quantificare il valore totale del guadagno realizzato tramite il passaggio da una situazione del traffico come quella attuale di Padova, a quella che viene, invece, ipotizzata nello scenario del traffico urbano proposto per il 2010.

Sommando tutti i ricavi ottenuti dalle singole categorie di danno, otteniamo un guadagno complessivo pari a **353.386 €**, riferito ad un giorno feriale di traffico nella città di Padova, come evidenziato nella successiva Tabella 136.

Tabella 136 - Valorizzazione complessiva dei guadagni da Scenario 2010

Categoria di danno	Guadagno per singola categoria (€)
Salute umana (Human Health)	35.416
Risorse (Resources)	6.050
Costi individuali	263.000
Costi sociali	48.920
Totale	353.386 €

Bibliografia

- Ambrosino G., Romanizzo M., *I servizi flessibili di trasporto per una mobilità sostenibile*, ENEA, Roma, 2002
- Andreoli C., *Analisi ambientale ed energetica del ciclo di vita di un ciclomotore*, Documento ENEA PROT – P135 - 011, Bologna, 2002
- ARCADIS Bouw/Infra, *Urban transport strategy review - The development of logistic services*, World Bank Group, Agosto, 2000
- AA. VV., *Ecosistema Urbano 2001*, Istituto di Ricerche Ambiente Italia e Legambiente, 2001
- AA. VV., *European Sustainable Cities - Report by the Expert Group on the Urban Environment*, Commissione Europea, 1996
- AA. VV., *External Costs of Transport in ExternE*, IER, Germania, 1997
- AA. VV., *ICARO - Increase of CAR Occupancy through innovative measures and technical instruments*, Commissione Europea DGVII - Quarto Programma Quadro di Ricerca, Vienna, 1999
- AA. VV., *I costi ambientali e sociali dei trasporti in Italia: produzione, esercizio e smaltimento dei veicoli - 2000*, Associazione Amici della Terra, Roma, 2000
- AA.VV., *L'energia e i suoi numeri*, Enea, Roma, 2000

- AA. VV., *Life Cycle Assessment - A guide to approaches, experiences and information sources*, EEA – European Environmental Agency, Agosto, 1997
- AA. VV., *Le emissioni in atmosfera da trasporto stradale*, ANPA - Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente - Serie Stato dell'Ambiente n. 12/2000, Roma, 2000
- AA. VV., *Libro bianco - La politica europea dei trasporti fino al 2010: il momento delle scelte*, Commissione Europea, Lussemburgo, 2001, ISBN 92-894-0343-8
- AA. VV., *Libro Verde: usi sostenibili dell'energia dei trasporti*, Conferenza Nazionale Energia Ambiente, ENEA, Roma, 1998
- AA. VV., *Rapporto Energia e Ambiente 2001, Volume 1 – L'Analisi*, ENEA, 2001, ISBN 88-8286-025-6
- AA. VV., *Relazione sullo stato dell'Ambiente 2001*, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Roma, 2002
- AA. VV., *The Citizen's Network - Fulfilling the potential of public passenger transport in Europe*, Commissione Europea, 1996
- AA. VV., *The Future Development of the Common Transport Policy: A Global Framework for Sustainable Mobility*, Commissione Europea, 1992

- Bertuccio L. (ENEA), Galli C. (ENEA), Iacovini C. (Euromobility), Parmagnani F. (Euromobility), *Mobility Management: stato dell'arte e prospettive*, ENEA, Roma, Ottobre 2001
- Brini S., Desiato F., Fortuna F., Gaudioso D., Liburdi R. Scalambretti R., *Emissioni in atmosfera e qualità dell'aria in Italia*, ANPA, Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente - Serie Stato dell'Ambiente n. 6/1999, Roma, 1999
- Cappellaro F., *Introduzione all'LCA*, Documento ENEA OZ-SCA-00005, Bologna, 2001
- Cascetta E., Montella B., *Metodologie per la redazione e la gestione dei piani urbani del traffico e della mobilità*, 1998
- Centro Ricerche FIAT, *Veicoli ibridi per una mobilità compatibile nei centri urbani*, in Notiziario per i clienti del Centro Ricerche Fiat, n. 12 del 12/11/2002, Torino, SATIZ 2002
- Comitato Economico e Sociale UE, *Parere del Comitato economico e sociale sul tema: "L'uso dei trasporti pubblici e privati nell'ambiente urbano e perturbano"*, Bruxelles, 27 aprile 2000, CES 469/00 EN-GIO/SAN/ac/lf/rm

- Comune di Padova - Settore Mobilità e Traffico - Ufficio Mobility Manager d'Area, *La nostra qualità dell'aria – Prevenzione e Gestione delle emergenze*, Comune di Padova, Padova, Novembre 2002
- Comune di Padova – Settore Mobilità e Traffico, *Piano Urbano della Mobilità– Rapporto Finale – Testo Integrato*, Comune di Padova, Padova, Dicembre, 2001
- Comune di Padova – Settore Mobilità e Traffico, *Piano Urbano della Mobilità– Allegato – Politiche della Mobilità – Indicazione degli Obiettivi Strategici*, Comune di Padova, Padova, Dicembre, 2001
- Comune di Padova – Settore Risorse Finanziarie, *Bilancio di Previsione 2002*, Comune di Padova, 2001
- Contaldi M., Ilacqua M., *Analisi dei fattori di emissione di CO₂ dal settore dei trasporti*, ANPA - Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente - Unità interdipartimentale Censimento delle Fonti di Emissione, Roma, 2001
- Corbo P., Esposito Concione F., Migliardini F., Veneri O., *Application of fuel cells to electric vehicles*, in Atti del Convegno “Energy and Environment 2002”, Capri, 6 – 8 Giugno 2002
- Costanza Robert, d'Arge Ralph, de Groot Rudolf, Farber Stephen, Grasso Monica, Hannon Bruce, Limburg Karin, Naeem Shahid, O'Neill

- Robert V., Paruelo Jose, G. Raskin Robert, Sutton Paul, van den Belt Marjan, *The value of ecosystem services: putting the issues in perspective*, in *Ecological Economics*, Vol. 25, pag. 67–72, 1998
- Cutaia L., Lombard P.L., Buscema I., *Valutazione del vantaggio, in termini di minori costi ambientali e sociali, di un forte sviluppo del trasporto collettivo in ambito urbano*, a cura di Amici della Terra, Roma, gennaio 2003, Prot. N 824/2002/ENE
 - D'Amato G., *The impact of air pollution on respiratory health*, in Atti del Convegno "Energy and Environment 2002", Capri, 6 – 8 Giugno 2002
 - Danielis R., *La teoria economica e la stima dei costi esterni dei trasporti*, Università di Trieste, Trieste, 2001
 - De Lauretis, *Scenari di riduzione delle emissioni in atmosfera dei ciclomotori*, ANPA - Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente - Unità interdipartimentale Censimento delle Fonti di Emissione, Roma, 2000
 - Del Manso F., Martucci O., Rocchi A., Tupini L., *Direttiva 98/70/CE: la qualità futura di benzina e gasolio*, in Atti del Convegno "Energy and Environment 2002", Capri, 6 – 8 Giugno 2002

- Di Lorenzo A., *Transport policy and air quality in urban areas*, in Atti del Convegno "Energy and Environment 2002", Capri, 6 – 8 Giugno 2002
- Drufuca A., *Note di informazione tecnica per un dibattito sul Road Pricing a Milano*, intervento al convegno "Il Road Pricing è misura virtuosa o nuova gabella?", Giugno, 2002
- Duncan D., Psaila A., *Environmental benefits from the use of emulsion fuels in heavy-duty diesel engines*, in Atti del Convegno "Energy and Environment 2002", Capri, 6 – 8 Giugno 2002
- Edwards Peter J., Abivardi Cyrus, *The value of biodiversity: where ecology and economy blend*, in Biological Conservation, Vol. 83. n° 3, pag. 239 - 246, 1998
- Environmental management, *Lifecycle assessment-Goal and scope definition and inventory analysis*, UNI EN ISO 14041 ottobre 1998
- Environmental management, *Lifecycle assessment-Life cycle impact assessment*, UNI EN ISO 14042 marzo 2000
- Environmental management, *Lifecycle assessment-Principles and framework*, UNI EN ISO 14040 giugno 1997

- EXTRA Project, *Integrated policy aspects of sustainable mobility*, Commissione Europea DGVII nell'ambito del Quarto Programma Quadro di Ricerca, Settembre, 2001
- EXTRA Project, *Urban Transport*, Commissione Europea DGVII nell'ambito del Quarto Programma Quadro di Ricerca, Luglio, 2001
- Gambino M., Iannaccone S., *Motori a gas naturale*, in Atti del Convegno "Energy and Environment 2002", Capri, 6 – 8 Giugno 2002
- Gimelli A., Grassia P., Migliaccio M., Unich A., *Sulla efficacia della regolamentazione del traffico dei veicoli con motore a combustione interna nei centri urbani per il contenimento della produzione di inquinanti*, in Atti del Convegno "Energy and Environment 2002", Capri, 6 – 8 Giugno 2002
- Grisel L. et Alii, *Theme report: Database and Softwares*, 1999
- ISVAP, *Prospetto obbligatorio di comparazione tariffaria delle polizze RCA – Primo Semestre 2003 – Provincia di Padova*, ISVAP, Roma, 2003
- Koch H., *Car Sharing – User needs Report*, University Bremen - Institute for Sociology, 2002

- Levizzari A., *Il fine vita dell'automobile: prospettive tecnologiche e ambientali*, Consorzio per l'Area di ricerca scientifica e tecnologica di Trieste - AREA Science Park e Centro Ricerche FIAT, Udine, Ottobre 2001
- Lewandrowski J., Darwin R.F., Tsigas M., Raneses A., *Estimating costs of protecting global ecosystem diversity*, in *Ecological Economics*, Vol. 29, pag. 111 - 125, 1999
- Lugaresi N., *Traffico e mobilità urbana: disciplina giuridica*, Maggioli Editore, Rimini, 1998
- Messina G. (ENEA), Mitrovich S. (ENEA), Valentini M.P. (ENEA), Leone G. (ISIS), Ricci A. (ISIS), *Metodologia per il calcolo dei costi esterni dovuti al trasporto urbano*, ENEA, luglio 2002, ISSN 0393-3016, RT/2002/14/ENE
- Ntziachristos L., Samaras Z., *COPERT III, Computer Programme to Calculate Emissions from Road Traffic – Methodology and Emission Factors*, European Topic Centre on Air Emissions, Thessaloniki, 1999

- Nunes Paulo A.L.D., van den Bergh Jeroen C.J.M., *Economic valuation of biodiversity: sense or nonsense?*, in *Ecological Economics*, Vol. 39, pag. 203 - 222, 2001
- Pede G. (ENEA), Vellobe R. (ENEA), *I veicoli ibridi: stato dell'arte e motivazioni ambientali ed energetiche*, in *Periodico di informazione tecnica per gli Energy Manager*, n° 3, 2001
- Petritoli S., *Confronto ambientale ed economico, effettuato con il metodo LCA, fra il sistema integrato di trasporto attuale e un sistema di trasporto prevalentemente collettivo. Il caso del traffico urbano a Bologna*, Documento ENEA PROT – P135 – 013, Bologna, 2002
- Potestà C., Silvio Sada, *Interventi per l'inquinamento da traffico urbano*, *Rivista "Energia"* n°3, 1998
- Pré consultants B.V. Plotterweg, *The Eco-Indicators 99, methodology report*, aprile 2000
- Pré consultants B.V. Plotterweg, *User Manual – Introduction into LCA methodology and practice with SimaPro 5*, giugno 2001
- Rapone M., *Traffic and Environment*, in *Atti del Convegno "Energy and Environment 2002"*, Capri, 6 – 8 Giugno 2002

- Regione Veneto – Segreteria Regionale alle Infrastrutture e Mobilità – Direzione Infrastrutture di Trasporto, *Il manuale della Regione Veneto per la progettazione della sicurezza stradale in ambito urbano*, in Atti del Convegno “InfraVia 2001”, 2001
- Ricca G.(Centro Studi per i Sistemi di Trasporto – Csst), *La gestione intelligente dell'incidentalità in una Metropoli moderna*, in Atti del Convegno “InfraVia 2001”, 2001
- Sassi D., *Analisi del ciclo di vita dell'automobile*, Documento ENEA PROT-P135-010, Bologna, 2002
- Simone C. et Alii, *Analisi del Ciclo di Vita e dei costi della degenza di un paziente colpito da infarto presso il reparto di cardiologia dell'Ospedale di Correggio (RE)*, Documento ENEA OT-SBB-00018, Bologna 2002
- Thompson M., Ellis R., Widavsky A., *Cultural Theory*, Westview Print Boulder 1990
- Van Kooten G. Cornelis, *Economics of conservation biology: a critical review*, in Environmental Science & Policy, Vol. 1, pag. 13 - 25, 1998

Fonti Internet

- www.aci.it – **Automobil Club d'Italia**
- www.anfia.it – **Associazione Nazionale fra le Industrie Automobilistiche**
- www.aprilia.com – **Aprilia**
- www.biodiesel.it – **Sito di informazione sui combustibili alternativi**
- www.combustibili.it – **Sito di informazione sui combustibili**
- www.copert.it – **Sito Italiano del Progetto COPERT**
- www.deagiuridica.it – **Banca dati giuridica**
- www.enea.it – **Ente Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente**
- www.europa.eu.int/pre-lex - **Banca dati giuridica dell'Unione Europea**
- www.gecam.it – **CamTech sul combustibile GeCam**
- www.istat.it – **Istituto Nazionale di Statistica**
- www.isvap.it – **Istituto di Vigilanza sulle Imprese Assicuratrici**
- www.iveco.it – **Iveco Italia**
- www.padovanet.it – **Sito istituzionale del Comune di Padova**
- www.piaggio.it – **Piaggio Italia**
- www.tecnobus.it – **Tecnobus Italia**
- www.toyota.com – **Toyota**
- www.tuttotrasporti.it – **Rivista Tutto Trasporti**